

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Jiří MÜHLSTEIN

TVORBA A VIZUALIZACE 3D TOPOGRAFICKÉ DATABÁZE OKOLÍ PRAVČICKÉ BRÁNY

CREATION AND VISUALIZATION OF THE 3D TOPOGRAPHIC DATABASE OF PRAVČICKÁ BRÁNA'S SURROUNDINGS

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Lukáš Brůha

Praha 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 22. 5. 2014

.....

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli Mgr. Lukáši Brůhovi a hlavně RNDr. Jakubovi Lysákovi za trpělivost, ochotu a velké množství cenných rad nezbytných pro zdárné dokončení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat správě Národního parku České Švýcarsko za umožnění přístupu do všech částí areálu a poskytnutá data. Na závěr bych rád poděkoval i rodině, jež mi byla, vždy během vypracování, významnou podporou.

TVORBA A VIZUALIZACE 3D TOPOGRAFICKÉ DATABÁZE OKOLÍ PRAVČICKÉ BRÁNY

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá převážně praktickými možnostmi tvorby digitálního modelu terénu a jeho úprav pomocí geoinformačních technologií.

V první části práce se nachází rešerše možností 3D vizualizace, dále druhů digitálních modelů terénu a týká se také souřadnicových systémů, tedy oblasti, do kterých tato práce zasahuje.

Hlavní je druhá – praktická – část, která se zabývá tvorbou hybridního digitálního modelu krajiny oblasti Pravčické brány, složeného z troj-dimenzionálních objektů budov a 2,5D modifikovaného TIN modelu okolního terénu s integrovanými 3D cestami v areálu. Nejprve jsou řešeny problémy související s nesourodostí vstupních dat a posléze je popsán proces tvorby cest ve 3D a modelu terénu, který je následně upraven odstraněním těch částí, jež kolidují s prostorem cest. V závěru je popsán postup modelování budov a posléze jejich integrace do upraveného modelu terénu.

Výsledkem práce je vytvoření topografické databáze využitelné pro další zpracování a náhledy na výslednou vizualizaci scény digitálního modelu se všemi součástmi.

Klíčová slova: 2,5D, 3D model, SketchUp, ArcScene, DTM, integrace

ABSTRACT

This bachelor thesis covers mostly practical modes of digital terrain model creation and its editing by Geoinformatics.

The first part of the thesis is focused on an overview of 3D visualization options, digital terrain model types and also coordinate systems, an area this thesis is concerned with.

The second - practical - part is the main one and it focuses on the creation of a hybrid digital terrain model of "Pravčická brána" surroundings that consists of three-dimensional structure objects and 2,5D modified TIN model of surrounding terrain with integrated 3D paths in the area. At first, problems with the inconsistency of entry data are solved and consequently, the process of 3D path and terrain model (which is later edited by deleting those parts colliding with paths) creation is described. In the end, the process of structure modelling and their integration into the edited terrain model is outlined.

The outcomes of the thesis are topographic database that can be further used, final scene visualization of the digital model with all its components previews.

Keywords: 2,5D, 3D model, SketchUp, ArcScene, DTM, integration

OBSAH

Přehled (seznam) použitých zkratk	7
Seznam obrázků, grafů a tabulek	8
1 Úvod	10
2 Úvod do problematiky a řešeršní část	12
2.1 2D, 2,5D a 3D modely	12
2.1.1 Hraniční, povrchové a objemové reprezentace těles	13
2.1.2 Multipatch formát dat	15
2.2 Souřadnicové systémy polohové	15
2.2.1 WGS 84 + UTM	16
2.2.2 S-JTSK	16
2.3 Souřadnicové systémy výškové	17
2.3.1 Problematika výšek vztažených k elipsoidu a geoidu	17
2.4 Digitální model terénu	18
2.4.1 Typy digitálních modelů terénu.....	19
2.5 Charakteristika území	20
3 Metodika	23
3.1 Vstupní data	23
3.1.1 Cesty	23
3.1.2 Budovy	24
3.1.3 Tunel a převisy	24
3.2 Příprava vstupních dat	24
3.2.1 Práce s geodetickými daty	24
3.2.2 Transformace digitálních modelů terénu	26
3.2.3 Transformace 3D modelu Pravčické brány	27
3.3 Tvorba dolní cesty	27
3.3.1 Získání nadmořské výšky nuly relativního výškového systému	27
3.3.2 Přidání atributu nadmořské výšky k liniím cesty	32
3.4 Tvorba horní cesty po Pravčické bráně.....	33
3.4.1 Georeferencování dat.....	33
3.4.2 Vektorizace	35
3.4.3 Zjištění nadmořské výšky nuly relativního výškového systému:	35
3.5 Tvorba 3D	37

3.5.1	Schody:	38
3.5.2	Vertikální linie u schodišť	40
3.6	Tvorba modelu terénu pro závěrečnou vizualizaci	41
3.6.1	Tvorba tunelu a převisů	41
3.6.2	Tvorba digitálního modelu terénu	43
3.7	Modelování a export budov	47
3.8	Závěrečná vizualizace v ArcScene	51
4	Použitý software	54
4.1	MS Excel.....	54
4.2	Google SketchUp	54
4.3	ArcGIS	55
5	Použité vybavení	57
5.1	GPS přístroj.....	57
5.2	Dálkoměr	59
6	Výsledky a diskuze	61
7	Závěr	65
	Seznam zdrojů:	66
	Seznam příloh	70

Přehled (seznam) použitých zkratk

2D – dvourozměrný model obsahující délku a šířku

2,5D – model obsahující dvě dimenze a každý prvek obsahuje určitou informaci navíc

3D – trojrozměrný model obsahující délku, šířku a výšku

Boundary representation – 3D objekt definován pomocí povrchu

Bpv – Výškový systém **B**altský – **p**o **v**yrovnání

CAD - Computer Aided Design

COLLADA – **COLL**aborative **D**esign **A**ctivity, formát pro ukládání 3D objektů a animací

CSG - Constructive Solid Geometry

ČÚZK - Český úřad zeměměřičský a katastrální

DEM – Digital Elevation Model - digitální výškový model (v českém překladu DMR)

DMK – Digitální Model Krajiny

DTM - Digital Terrain Model – digitální model terénu (DMT)

DMR – Digitální Model Reliéfu

DMÚ – Digitální Model Území

ESRI - Environmental Systems Research Institute

GIS - Geografický Informační Systém

GPS – Global Positioning System,

Natural neighbour – interpolační metoda přirozeného souseda

S-JTSK – Souřadnicový systém Jednotné Trigonometrické Sítě Katastrální

SW - Software

TIN - Triangulated Irregular Network – interpolační metoda a také druh digitálního modelu terénu

UTM – Universal Transverse Mercator, souřadný systém souřadnic

VÚGTK - Výzkumný Ústav Geodetický, Topografický a Kartografický

WGS 84 - World Geodetic System - světový geodetický referenční systém 1984

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázky

Obr. 1: Příklad drátěné reprezentace

Obr. 2: Příklad povrchové reprezentace

Obr. 3: Příklad objemové reprezentace

Obr. 4 : Schéma geocentrického souřadného systému WGS84

Obr. 5: Schéma Křovákova zobrazení

Obr. 6: Umístění ČR v SS JTSK

Obr. 7: Znázornění rozdílů výšek různých aproximací zemského povrchu

Obr. 8: Poloha Pravčické brány v NP

Obr. 9: Mapa areálu Pravčické brány

Obr. 10: Porovnání .dgn výkresu (vlevo) a autorem vytvořené vrstvy (vpravo)

Obr. 11: Náhled přetransformovaných souřadnic v textovém souboru

Obr. 12: Interpolace metodou přirozeného souseda

Obr. 13: Vlastní zaměřené GPS body

Obr. 14: Tabulka spojovacích bodů

Obr. 15: Různé transformace v prostředí GIS

Obr. 16: Určení hodnoty 100 pro cestu po vrcholu PB

Obr. 17: Vizualizace scény po prvním vytvoření 3D vrstvy cest

Obr. 18: Původní oblast schodiště

Obr. 19: Ukázka geodetického výkresu s popisem schodiště schodů

Obr. 20: Jednotlivé výškové stupně schodiště

Obr. 21: Výsledné plošky jednotlivých schodů

Obr. 22: Výsledné schodiště

Obr. 23: Podlahový a stropní TIN pro funkci Extrude Between

Obr. 24: Hotový model tunelu

Obr. 25: Původní TIN model terénu se samostatnou vrstvou cest

Obr. 26: Ukázka modelu terénu se správně integrovanou boční linií cest

Obr. 27: Nesprávně vykreslený TIN s integrovanou cestou

Obr. 28: Porovnání modelu terénu se skutečností

Obr. 29: Detaily vyříznutých převisů

Obr. 30: Hrubá stavba v prostředí SketchUp na příkladu Sokolího hnízda

Obr. 31: Finální model v prostředí SketchUp na příkladu Sokolího hnízda

Obr. 32: Import objektů a do software ArcScene a úprava jejich pozice

Obr. 33: Závěrečná vizualizace scény

Obr. 34: Pohled na celé zájmové území

Obr. 35: Přístroj Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH

Obr. 36: Přístroj LaserAce 1000 Rangefinder

Tabulky

Tab. 1: Výškově zaměřené body na naskenovaném výkresu

Tab. 2: Přesnosti jednotlivých zaměřených bodů

Grafy

Graf 1: Gaussova křivka aplikovaná na upravená data zbavená odlehlých pozorování

1 Úvod

Jako téma této bakalářské práce byla vybrána tvorba a vizualizace 3D topografické databáze okolí Pravčické brány. Práce se zabývá rozšířením bakalářské práce Ivo Brýdla (2012), který z dat leteckého laserového skenování NP Českého Švýcarska vymodeloval digitální model reliéfu oblasti kolem Pravčické brány, kde samotný útvar brány odstranil a úspěšně nahradil detailním 3D modelem, který následně začlenil do 2,5D modelu terénu.

Práce si klade za cíl v první řadě tvorbu 3D cest v areálu Pravčické brány, integrovaných do digitálního modelu terénu. To obnáší mimo výškového zakomponování jednotlivých částí cesty do modelu reliéfu i upravení těch částí původního 2,5D modelu terénu, kdy cesta prochází pod převisy či tunelem, nacházejícího se na přístupové cestě pod Pravčickou bránou. Dále se práce bude zabývat vytvořením zbylých 3D objektů nacházejících se v těsné blízkosti brány, a to především několika budov. Rešeršní část se tedy bude zabývat vysvětlením rozdílů mezi pojmy 2D a 3D a problematikou rozdělení digitálních modelů terénu. Zároveň zde bude rozvedena problematika a odlišnosti dvou souřadnicových polohových systémů, se kterými je v praktické části pracováno. Účelem práce je také vytvoření závěrečné vizualizace výsledné scény, o kterou projevil zájem i samotný národní park. Data, která budou v této práci vytvořena, budou využita pro další zpracování na KAGIK UK.

Vytváření prostorových dat bude probíhat jednak v rámci komplexního balíku software ArcGIS od firmy ESRI, kdy pro přehlednější 2D zobrazování a zadávání klíčových dat bude využito aplikace ArcGIS a pro následnou 3D vizualizaci aplikace ArcScene, a jednak v aplikaci Google Sketchup 8, který splňuje podmínku kompatibility se softwarem od ESRI a je volně stažitelný. Pomocné úpravy fotografií budou zpracovávány v aplikaci Zoner Photo Studio 13 a pomocné výpočty budou prováděny v aplikaci MS Excel ve verzi 2007.

Toto téma jsem si vybral pro svůj zájem v oboru 3D modelování, kdy mě prostorové modely vždy fascinovaly a díky získanému vzdělání a softwaru s širokou základnou podpory v internetových fórech se mohu sám touto činností zabývat.

2 Úvod do problematiky a řešeršní část

2.1 2D, 2,5D a 3D modely

V geoinformaticce se dnes již běžně pracuje s 2D a 3D daty, která se v současnosti stávají stále atraktivnější díky stále lepšímu technickému vybavení. Základní dělení využívané v dnešní době k modelování objektů rozlišuje 2D objekty, vyjadřující rovinnou grafiku, dále 2,5D objekty znamenající přechod mezi 2,5D a 3D objekty (v bodech o souřadnicích X, Y mají definovanou jedinou hodnotu souřadnice Z, a 3D objekty, kdy každý jejich bod má k souřadnicím X, Y definovanou také libovolnou souřadnici Z (Dušek, Miřijovský 2009). Dušek (2009) dále upozorňuje, že s rozmachem technického vybavení dochází k nesprávnému označování 3D nejen pro trojrozměrná tělesa, ale i pro proces jejich vizualizace. Proto například při promítání obrazů na display či plátno, které má nulovou výšku, se dle něj nejedná o 3D vizualizaci. Jako 3D se také často chybně označují v geoinformaticce označované 2,5D prezentace dat, protože chybí vhodné synonymum, například širší perspektivní pohled. Angsüsser a Kumke (2001) si uvědomují konflikt v terminologii, proto pojem 3D rozdělují na „Real 3D“ a „Pseudo 3D.“

2D znamená zkratku z výrazu anglického výrazu *two-dimensional*, neboli dvojrozměrné. Takovéto objekty jsou často definované souřadnicemi šířky a délky. Žára (2004) považuje za základní 2D objekty úsečky, lomené čáry, kružnice, elipsy, křivky a textové řetězce. Tyto základní prvky mohou mít liniový nebo plošný charakter. Všechny body objektu se nacházejí v rovině a lze určit jejich délku, šířku, obsah či obvod, nikoli však objem, protože neobsahují údaj o výšce. V další části práce je často zmiňován pojem polylinie, neboli lomenná čára. Tyto lomenné čáry se skládají z geometrického hlediska z posloupnosti úseček, kdy koncový bod jedné úsečky je počátečním bodem úsečky následující, a často nahrazující složitější křivočaré obrazce.

2,5D reprezentace modelů je další možnost, jak může pozorovatel vidět objekty v prostoru. Používá zákony perspektivy a při vytvoření posloupnosti obrazů je možné vytvořit

dojem měnící se vzdálenosti a hloubky objektů, ačkoli jsou jednotlivé objekty pozorovány stále ze stejného místa. K pozorování obrazů není potřeba žádné další speciální zařízení, stačí obyčejná plochá obrazovka (Haklay, 2002). Jedná se o mezistupeň mezi dvou- a trojrozměrným objektem, kdy jednomu bodu je možné určit maximálně jednu výškovou souřadnici z , a to jako atribut (Rapant, 2006). V oblastech CAD systémů 2,5D grafika znamená trojrozměrné objekty složené z prvků vytvořených v dvourozměrném prostoru (úsečky, polygony...), kterým je přiřazena výška. Vznikají tak z úseček svislé roviny, z kružnic válce atd. V geoinformatice se využívá pro tvorbu digitálních modelů reliéfu (Dušek, 2009). Při vizualizaci se tyto objekty jeví jako 3D, ale v terénu nelze modelovat např. tunely či převisy (Gröger, Plümer, 2005).

3D vzniklo ze zkratky *three-dimensional*, tedy trojrozměrný. Trojdimenzionální objekty nesou informaci o dalším rozměru – výšce, která již není atribut, ale souřadnice. Vizualizace takovýchto objektů je pro uživatele atraktivnější, protože se může sám rozhodnout, z jakého úhlu na těleso nahlížet (Haklay, 2002). Žára (2004) definuje 3D objekt jako těleso, na které lze nahlížet jako „na sjednocení dvou disjunktních množin – množiny vnitřních bodů a množiny hraničních bodů.“ To znamená, že každý vnitřní bod sousedí pouze s vnitřními nebo hraničními body a hraniční bod sousedí s vnitřním bodem, hraničním nebo bodem mimo těleso. Samotné těleso chápe jako spojitý útvar, tvořený jedním celkem (počítá i s možností, že těleso obsahuje otvor). Tato definice vylučuje např. úsečky nebo křivky v prostoru, protože nemají žádné vnitřní body ve smyslu tělesa. Tato definice ovšem zahrnuje i objekty, které nelze ve skutečném světě vyrobit, neboť se například dvě tělesa nemohou dotýkat pouze v jednom bodě. 3D modely objektů lze reprezentovat mnoha způsoby. Žára (2004) rozlišuje reprezentaci hraniční (Boundary representation), konstruktivní geometrii těles (Constructive solid geometry, CSG), modelování pomocí deformací a objemovou reprezentaci.

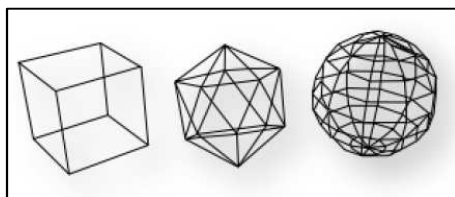
2.1.1 Hraniční, povrchové a objemové reprezentace těles

Hranice tělesa je jedna z nejběžnějších forem jeho reprezentace. Většina lidí kreslí, tedy popisuje těleso, pomocí hraničních bodů (B-rep, Boundary representation), tzn. pomocí obrysu, který je podmnožinou hranice, znázorněné na obrázku 2. Neuchovávají se však žádné informace o vnitřní struktuře (Žára 2004). Těleso může mít zadány nejen geometrické vlastnosti, ale například i optické, jako je barva, odrazivost apod. Je mnoho možností, jak geometricky a topologicky popsat těleso, proto zde rozvedu pouze několik variant.

Hranová reprezentace – informačně chudá reprezentace, často nazývaná jako drátový model (wire-frame, znázorněno na obrázku 1). Povrch tělesa je popsán pouze seznamem hran a seznamem vrcholů, proto ho často nelze jednoznačně interpretovat. Obsahuje pouze

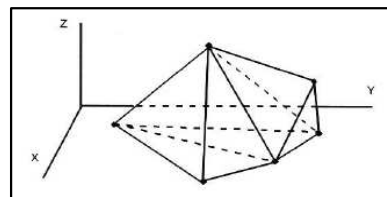
minimum topografických informací a není jasně definován tvar či pozice tělesa vzhledem k pozorovateli.

Obr. 1: Příklad drátěné reprezentace



Zdroj: Jedlička, 2011

Obr. 2: Příklad povrchové reprezentace



Zdroj: Jedlička, 2011

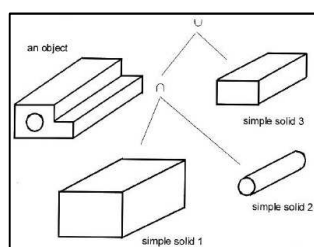
Bodová reprezentace – jedná se o množinu povrchových bodů, získanou většinou digitálním snímáním reálných objektů. Nároky na paměť této reprezentace jsou vysoké, protože každý bod představuje část povrchu a nese informace o souřadnicích, barvě a dalších vlastnostech zjištěných odrazem světla.

Polygonální (plošková) reprezentace – nejčastěji používaná reprezentace, obohacuje strukturu hranové reprezentace o vrstvu ploch. Plochy mohou mít buď tvar trojúhelníků či obecných polygonů, vyjádřených pomocí vrcholů (vertexů) a hran (edge). Z důvodů snížení nároků na paměť jsou sdílené vrcholy a hrany seskupovány do větších celků. Oproti hranové reprezentaci je plošková reprezentace vhodná na vykreslení zohledňující viditelnost.

Konstruktivní geometrie těles (CSG) – popis tělesa založený na stromové struktuře, která uchovává historii dílčích konstrukčních kroků. Z primitivních těles (koule, jehlan, kvádr, válec, kužel) je prostorovými transformacemi a množinovými operacemi vytvořen výsledný objekt. Reprezentace pomocí CSG se uplatňuje zejména při tvorbě tělesa, pro zpětné vykreslení totiž neobsahuje prvky jako hrany či plochy. Pro jeho zobrazení se tedy povětšinou převádí do reprezentace hraniční či objemové.

Objemová reprezentace – v tomto typu reprezentace není těleso popsáno geometricky, ale ze sad vzorků, nacházejících se v určitém místě na povrchu nebo objemu (viz obr. 3). Data popisující reprezentaci mohou být buď rozptýlená (scattered data), kdy každý vzorek nese kromě informací o fyzikální veličině i své souřadnice, či se data vyskytují v podobě pravidelných nebo nepravidelných mřížek.

obr. 3: Příklad objemové reprezentace



Zdroj: Jedlička, 2011

Základními elementy, se kterými objemová reprezentace pracuje, jsou voxel a buňka. Voxely jsou uspořádané do pravouhlé mřížky, mají tvar kvádrů či krychle, a označují nejmenší element v trojrozměrném diskretním prostoru. Jelikož má voxel v celém svém objemu konstantní hodnotu sledované veličiny, takovou, která odpovídá jeho středu, je někdy nahrazován buňkou (cell), protože hodnota uvnitř buňky se počítá z interpolací hodnot naměřených v rozích buňky a není tedy konstantní jako u voxelu (Popelka, 2008).

2.1.2 Multipatch formát dat

Formát pro 3D data vyvinut v ESRI v roce 1997 pro ukládání složitějších 3D objektů (Brychtová, 2010). Jedná se o speciální případ hraniční reprezentace, založený na trojrozměrných trojúhelnících a kroužcích, díky čemuž je možné v něm vytvářet jednoduché objekty, jako koule a kostky, nebo i složitější objekty jako jsou izoplochy, stromy a budovy. Může být uložen jako *feature class* v rámci geodatabáze, či jako samostatný *shapefile*.

Multipatch nemůže být vytvořen interaktivně pomocí uživatelského rozhraní, ale pouze jednou z následujících metod: některým z nástrojů určených k tvorbě multipatch objektů (*Feature to 3D by Attribute*, *Extrude Between*, *Layer 3D to Feature Class...*), importem již existujících 3D objektů (např. ve formátu .3ds nebo COLLADA ze software SketchUp) nebo použitím ArcObjects programování.

Pomocí multipatch formátu mohou být prostorově zobrazeny body, linie, či polygony, protože si nesou informace o poloze (včetně výškové souřadnice Z, udané buď absolutní, nebo relativní výškou vztaženou k povrchu Země). Zároveň mohou obsahovat textury obrazů, barev či průhlednost, což jim umožňuje zobrazovat realisticky vypadající 3D objekty.

Multipatch může být vnímán jako box obsahující sbírku geometrických reprezentací pro zobrazení 3D povrchů. Geometrie, ze které se multipatch skládá, se dělí část plošnou a část řídící, určující pořadí a interpolaci jednotlivých vrcholů. Pro další práci s multipatch tělesem či jeho analýzou je nezbytné, aby byl objekt „uzavřený“, což znamená, že má přesně definovaný objem a není nikde narušen mezerami či prázdnými místy (Esri, 2014b).

2.2 Souřadnicové systémy polohové

Souřadnicový systém umožňuje určitými geometrickými prostředky určit jednoznačně polohu libovolného bodu na ploše nebo v prostoru. Je charakterizován počátkem souřadnic, souřadnicovými osami a jejich orientací (slovník VÚGTK). Dle předpisu nařízení vlády č. 430/2006 Sb. jsou na území České republiky závazné tyto souřadnicové systémy: Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), katastrální souř. systém Gusterberg (pro Čechy) a sv. Štěpán (pro Moravu), výškový systém Baltský po vyrovnání (BPV), Tíhový

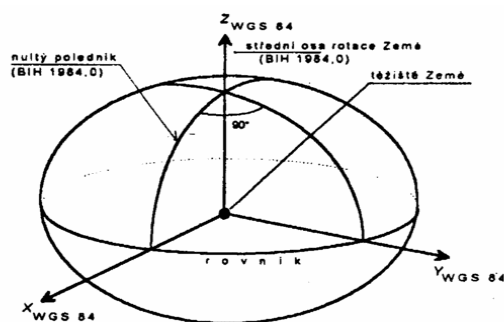
systém 1995 (S-Gr95), Souřadnicový systém 1942 (S42), Evropský terestrický referenční systém (ETRS) a Světový geodetický referenční systém 1984 (WGS84).

Protože jsou v této práci zmiňovány souřadnicové systémy S-JTSK a WGS 84 se zobrazením UTM, zmíním se podrobněji pouze o těchto dvou.

2.2.1 WGS 84 + UTM

Světový geodetický geocentrický systém, který má počátek v hmotném středu Země. Osy X a Y leží v rovině rovníku a Z je totožná s osou rotace Země. Kladná osa X směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku, kladná osa Z k severnímu pólu a kladná osa Y je na obě předchozí kolmá ve směru doleva (90° východní délky a 0° šířky), tvoří tak pravotočivou kartézskou soustavou souřadnic na referenčním elipsoidu WGS 84, jak lze vidět na obrázek 4. Tento souř. systém je využíván armádou USA např. při určování polohy technologií GPS a také ho používají armády v organizaci NATO (VÚGTK, 1998).

Obr. 4 : Schéma geocentrického souřadného systému WGS84



Zdroj: Čada, 2007

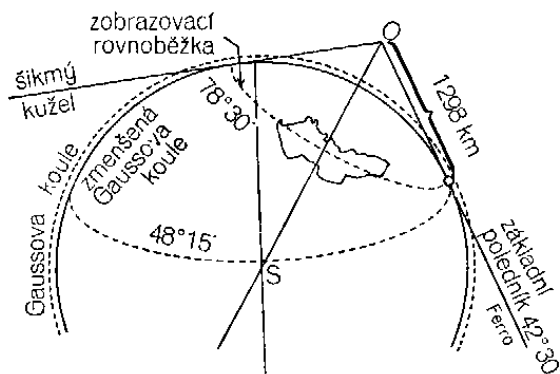
Na výše zmíněném elipsoidu je definováno kartografické zobrazení UTM. Toto zobrazení je příčné konformní válcové Mercatorovo zobrazení 60 poledníkových pásů, kdy každý je široký 6 stupňů a má vlastní souřadnicový systém. Téměř celá Česká republika leží v pásu 33, pouze ve východní části ležící Slezsko je v pásu 34 (Terminologický slovník VÚGTK, cit. 2014; Čada, 2007).

2.2.2 S-JTSK

Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) je závazným geodetickým referenčním systémem na celém území státu. Je definován na Besselově elipsoidě v Křovákově konformním kuželovém zobrazení v obecné poloze (viz obr. 5) a souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí (Terminologický slovník VÚGTK, cit. 2014). V konformním zobrazení nedochází ke zkreslování úhlů.

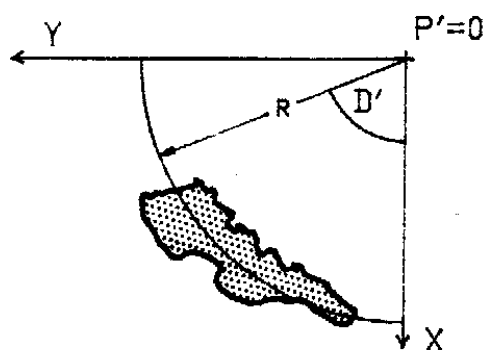
Čada (2007) upřesňuje, že referenční bod elipsoidu je Hermannskogel a zobrazení je dvojité konformní, tzn. že se trigonometrické body nejprve konformně zobrazí z Besselova elipsoidu na Gaussovu kouli a poté na kužel v obecné poloze. Počátek pravoúhlé rovinné soustavy byl zvolen v obrazu vrcholu kužele. Osa X je orientována k jihu (viz. obrázek 6) a je tvořena obrazem základního poledníku $42^{\circ}30'$ v.d. Základní rovnoběžkou je $78^{\circ}30'$ s.š. Toto mimo jiné znamená, že obě souřadnice jsou vždy kladné.

Obr. 5: Schéma Křovákova zobrazení



Zdroj: Čada, 2007

Obr. 6: Umístění ČR v SS JTSK



Zdroj: Čada, 2007

2.3 Souřadnicové systémy výškové

V České republice se v současnosti používá výškový systém Baltský – po vyrovnání (Bpv). Tento systém byl zaveden roku 1957. Určujícími prvky každého výškového systému jsou výškové bodové pole, střední hladina použitého moře (nulový výškový bod), druh použitých výšek (způsob respektování tíhového pole) a způsob zpracování (vyrovnání). V případě systému Bpv se konkrétně jedná o výškové bodové pole, které tvoří ČSJNS (Československá jednotná nivelační síť), normální (Moloděnského) výšky jsou vztaženy k střední hladině Baltského moře (nulový výškový bod v Kronšladtu) a síť byla vyrovnána mezinárodně v rámci socialistických států roku 1957 (Čada, 2007).

Pro určení výšky bodu je potřeba zvolit nulovou hladinovou (referenční) plochu a definovat výškovou polohu bodu nad touto vztažnou plochou. Výška je definována jako vzdálenost bodu od nulové hladinové (referenční) plochy procházející nulovým výškovým bodem měřené podle svislice (ve směru siločar tíhového pole Země) = absolutní (nadmořská) výška (Čada, 2007).

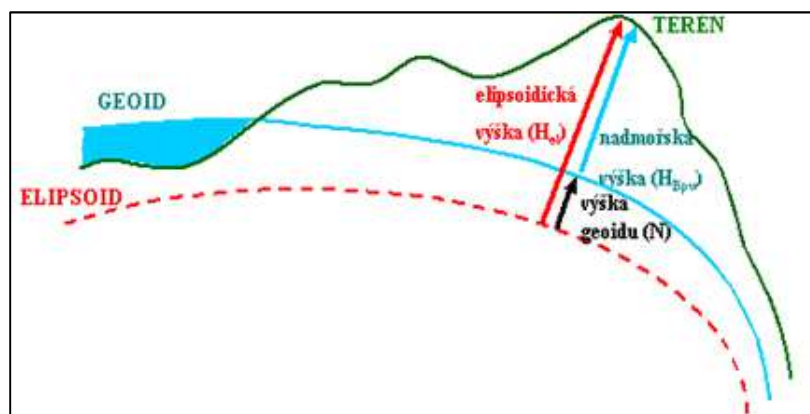
2.3.1 Problematika výšek vztažených k elipsoidu a geoidu

V případě, že bylo pracováno se světovým souřadnicovým polohovým systémem WGS84, je potřeba si uvědomit, jakou výšku z něj získáme. Získaná výška zde neznamena nadmořskou

výšku v České republice, definovanou dle Terminologického slovníku VÚGTK (cit. 2014) jako „vzdálenost bodu od střední hladiny moře měřená podél tížnice“, nýbrž výšku získanou také z měření GPS (tj. elipsoidickou výšku), definovanou jako „vzdálenost bodu od elipsoidu měřené podél kolmice od elipsoidu k tomuto bodu“ (Terminologický slovník VÚGTK, cit. 2014).

Pro převod elipsoidické výšky na výšku nadmořskou je zapotřebí znát průběh „mořské hladiny“ pod kontinentem, konkrétně její výšku nad elipsoidem v určeném bodě, jak lze vidět na obrázku 7. Tato referenční hladinová plocha se nazývá geoid, v praxi používáme slovo kvazigeoid, což by se mohlo doslova přeložit jako „skorogeoid.“ Ten lze určit výpočtem z pozemských a družicových měření, kdežto geoid je teoretickou plochou, kterou nelze prakticky určit (Kadlec, 2007).

Obr. 7: Znáznornění rozdílů výšek různých aproximací zemského povrchu



Zdroj: ČVUT, 2014

2.4 Digitální model terénu

Digitální modely terénu existují již několik let a v průběhu času se jeho místo pro využití v reálném světě konstantně vyvíjí, rozvíjí a adaptuje na měnící se potřeby pro multi-disciplinární využití. Zpočátku byly digitální modely terénu vyvíjeny pro práci v mapových projektech velkých měřítek. Jak využití DTM stoupalo, byly specializovány pro rozličné aplikování, jako např. v architektuře, civilním inženýrství, fotogrammetrii, mapách atd. (Fagerman, 2001). Dle Klimánka (2008) jsou digitální modely terénu používány v geoinformatice zhruba od roku 1950.

Digitální model terénu je možné chápat jako zjednodušený obraz skutečné krajiny v prostředí geoinformačních systémů. Je to soubor rastrových a vektorových objektů, popisujících povrch, často obsahující i algoritmus pro odvození dalších vlastností jako sklon a viditelnost (Kolář, 2003). Dle Terminologického slovníku VÚGTK (cit. 2014) se jedná o digitální reprezentaci zemského povrchu v paměti počítače, složenou z dat a interpolačního

algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů. Pavelka (2011) definuje DMT jako matematicko-číselnou simulaci průběhu terénu, doplněná o pravidla používání, jehož základem jsou význačné prostorově určené body, které by měly co nejlépe vystihovat průběh terénu.

Jako zdrojová data pro tvorbu pro DMT mohou posloužit data získaná z různých zdrojů a různými způsoby. Oršulák a Pacina (2012) dělí metody sběru dat na přímé (kontaktní – nivelace, tachymetrie atd., bezkontaktní – fotogrammetrie, laserové skenování, radarové systémy atd.) a nepřímé (zpracovávají již existující modely terénu).

Výsledná věrnost modelu terénu, jak přesně bude kopírovat skutečný terén, závisí i na typu modelu. Bayer (2014) rozlišuje tři základní typy:

1. *Polyedrický model* – známý spíše jako TIN (Triangulated Irregular Network). Model je tvořen trojúhelníkovými ploškami, jejichž vrcholy nesou informace o poloze a výšce. Mohou být v rovině nebo různě pokřivené. Interpolace se obvykle provádí lineárně po trojúhelnících. Na rozdíl od rastrového modelu jsou body rozmístěny nepravidelně a mohou tedy v komplikovaných oblastech být zhuštěné a lépe aproximovat povrch (Kolář, 2003). Jeho nevýhodou je složitost struktury.
2. *Rastrový model* – tvořen pravidelnými ploškami se společnými hranami představující čtyřúhelníky či šestiúhelníky. V případě čtvercového nebo obdélníkového tvaru, který tvoří pravidelnou mřížovou síť, se pak mluví o tzv. gridovém modelu (Kolář, 2003). V tomto modelu mají body mezi sebou konstantní vzdálenost, což je vhodné například pro interpolace. Na druhou stranu to znamená nevýhodu, kdy jich může být v některých komplikovaných místech nedostatek a jinde naopak přebytek. Přesnost velmi záleží na rozlišení rastru a velikosti buňky.
3. *Plátový model* – tvořen nepravidelnými, obecně křivými ploškami troj- či čtyřúhelníkového tvaru (záleží, zda jsou nad polyedrickým či rastrovým modelem), kdy hranice mezi nimi jsou vedeny po zlomových liniích krajiny, aby co nejlépe kopírovaly povrch (Bayer, 2014). Plošky nemusí být pouze rovné, ale mohou být i jistým způsobem zakřivené (Klimánek, 2008).

2.4.1 Typy digitálních modelů terénu

V odborné literatuře se používá celá řada pojmů, spojených s digitálními modely terénu. Tyto zkratky převážně se lišících podle obsahu dat či určení modelu (Jelének, 2010). Značení není úplně přehledné už kvůli překladům anglických názvů do českého jazyka, kdy zkratky vzniklé z překladů jsou velmi podobné těm originálním.

DMT: digitální model trénu (v zahraniční literatuře **DTM** = digital terrain model)

- dle Klimánka (2008) se jedná o reprezentaci zemského povrchu bez jakýchkoli povrchových objektů (zástavba, komunikace či vegetace), avšak zobrazujících všechny přírodní tvary reliéfu jako např. říční koryta

DMR: digitální model reliéfu (v zahraniční literatuře **DEM** = digital elevation model)

- dle Terminologického slovníku VÚGTK (cit. 2014) se jedná o model terénu „pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů a datovou sadou výškových hodnot, které jsou algoritmicky přiřazeny k dvourozměrným souřadnicím“. Často se jedná o 2,5D rastrový model

DMP: digitální model povrchu (v zahraniční literatuře **DSM** = digital surface model)

- podle Terminologického slovníku VÚGTK (cit. 2014) se jedná o „zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrammetrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.)“

DMÚ: digitální model území (v zahraniční literatuře **DLM** = digital landscape model)

- obsahuje nejen model reliéfu, ale i povrchové objekty (zástavba, vegetace...). V České republice např. topografická databáze ZABAGED. Často se jedná o 2,5D model terénu s integrovanými 3D objekty

DMK: digitální model krajiny

- dle Braveného (2008) se jedná o komplexní databázi (trojrozměrné schéma výřezu Země) zahrnující podpovrchová data (půdy, geologie), povrchová data (DMT) i nadpovrchová data (klíma, land use)

2.5 Charakteristika území

Zájmové území NP České Švýcarsko se nachází v Ústeckém kraji, v okrese Děčín, a rozkládá se na 16 katastrálních územích náležících k 9 správním obcím (Hřensko, Mezná u Hřenska (obec Hřensko), Janov u Hřenska (obec Janov), Kamenická Stráň, Růžová (obec Růžová), Srbská Kamenice (obec Srbská Kamenice), Jetřichovice u Děčína, Rynartice, Všemily, Vysoká Lípa (obec Jetřichovice), Dolní Chřibská (město Chřibská), Doubice (obec Doubice), Kyjov u Krásné Lípy, Vlčí Hora (město Krásná Lípa), Brtníky a Kopec (obec Staré Křečany). Území NP spravují tři pověřené obce: Děčín, Varnsdorf a Rumburk. Všechny tyto obce leží vně národního parku (viz obrázek 8), jedinou trvale obydlenou obcí uvnitř NP je obec Mezná, část obce Hřensko (Správa NP ČŠ, 2007).

NP České Švýcarsko je obklopen CHKO Labské pískovce a Lužické hory. Při západní hranici, kterou tvoří řeka Labe, a severní hranici tvořenou mezinárodní hranicí se SRN, národní park sousedí s Národním parkem Saské Švýcarsko (Vařilová, 2005). Z geomorfologického hlediska se jedná o erozně-denudační reliéf, kde se nachází skalní soutěsky, skalní města, rokle, či skalní stěny a bludiště tvořené zejména turonskými kvádrovými pískovci (Holman, 2013, Správa NP Č. Švýcarsko, 2012)

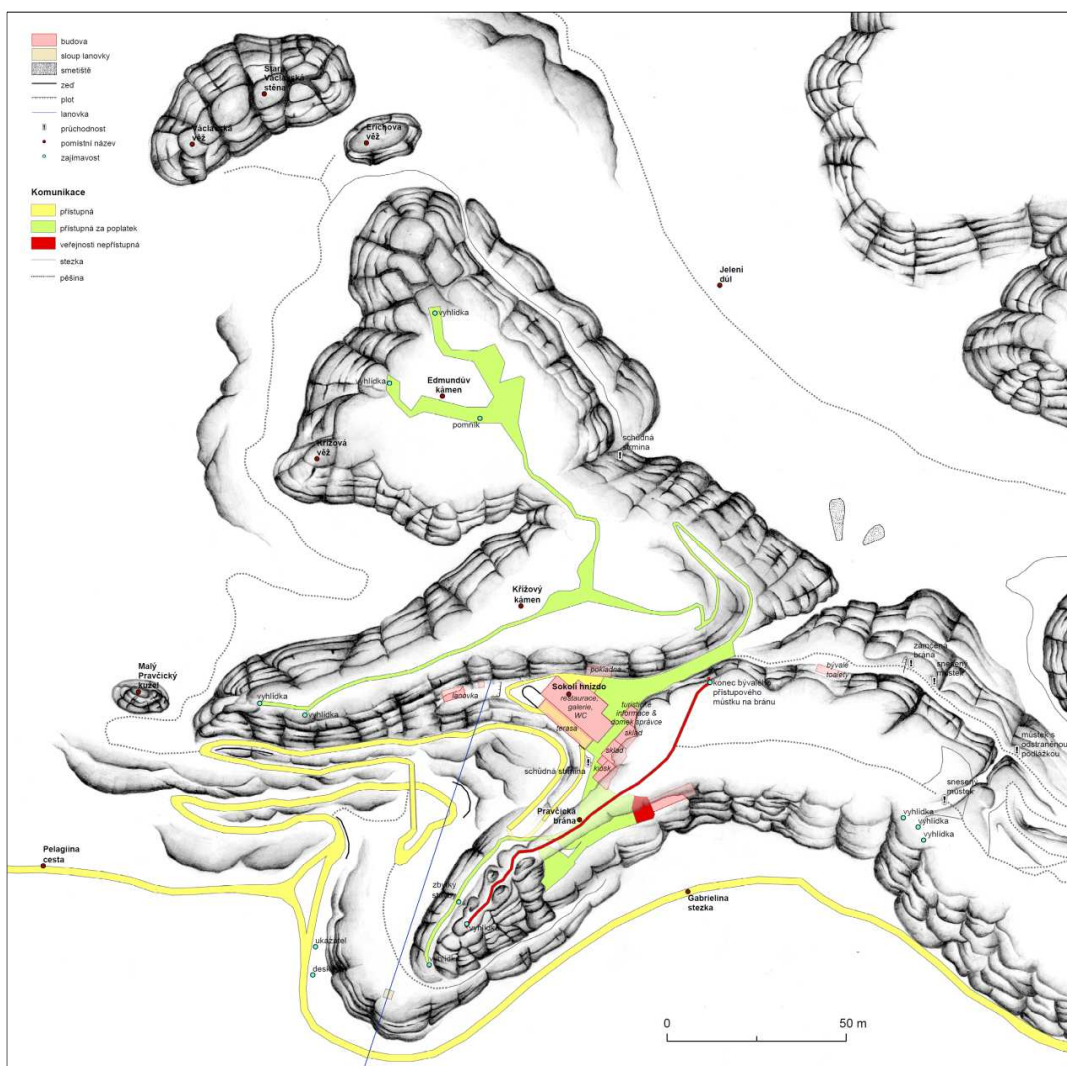
Obr. 8: Poloha Pravčické brány v regionu NP



Zdroj: Českosaské Švýcarsko, 2014

Samotný útvar Pravčické brány se nachází v I. zóně NP přibližně 3 km severovýchodně od obce Hřensko a 2 km severozápadně od Mezní Louky v katastrálním území Hřenska (Mezní Louka 406 b - bezlesí) a je chráněn jako Národní přírodní památka s chráněnou oblastí 2,300 ha (Správa NP Č. Švýcarsko, 2007). Dle geomorfologického členění je řazena do Děčínské vrchoviny, podcelku Jetřichovických stěn. Pravčickou bránu tvoří jedinečný geomorfologický útvar – pískovcová skalní brána (výška 16 m, délka 26,5 m) SV-JZ orientace, která zde vznikla erozivními procesy ve kvádrových pískovcích druhohorního (křídového) stáří. Chráněny jsou rovněž blízké skalní masivy, skalní hřbety a pilře s reprezentativně vyvinutými geomorfologickými formami, jež jsou hojně využívány jako vyhlídková místa do okolní krajiny, viditelné na obr. 9 (Vařilová, 2005).

obr. 9: Mapa areálu Pravčické brány



Zdroj: autorka Adéla Kiššová, vytvořeno v rámci předmětu Tématická kartografie

3 Metodika

V této části je popsán postup k dosažení vytyčených cílů.

Jednotlivé cíle:

1. Sladění polohových a výškových souřadnicových systémů zdrojových dat v prostředí ArcGIS.
2. Vytvoření 3D shapefilů cest v prostředí ArcGIS.
3. Eliminace problémů vzniklých, když cesta prochází terénem (tunel a převisy) v prostředí ArcGIS.
4. Vytvoření 3D modelů budov v externím programu Google SketchUp a následná integrace těchto modelů do prostředí ArcScene.
5. Vytvoření výsledné vizualizace v aplikaci ArcScene, kde budou do modelu terénu zasazeny jak cesty, tak budovy.

3.1 Vstupní data

3.1.1 Cesty

V rámci tvorby cest do 3D topografické databáze okolí Pravčické brány byly používány zdroje dat poskytnuté správou NP České Švýcarsko, výsledná data z bakalářské práce Ivo Brýdla (2012) a čtyři body z realizace kvazigeoidu pro Českou republiku CR-2005 z ČÚZK. První z nich byl geodetický výkres s geodetickým zaměřením cest v areálu Pravčické brány, který si nechalo zpracovat vedení NP v rámci projektu na obnovu cest v dané lokalitě. Zde je důležité uvést, že v geodetickém plánu byly výšky zaměřeny jen v relativním výškovém systému použitém pro potřeby výkresu. Přepočítání na skutečné nadmořské výšky je řešeno v následující kapitole (3. 2. 1). Dále byl využit vyfotografovaný obrázek geodetického zaměření cesty, která vede po horní části brány. Správa Národního parku také poskytla rastrový digitální model reliéfu zájmové oblasti, orientovaného do polohové souřadnicovém

systému S-JTSK a výškového systému Bpv. Za čtvrté bylo využito pro rekonstrukci dnes již nepřístupných cest vlastní GPS zaměření několika bodů, které byly naměřeny jak na horní části brány, tak při sestupování již nepoužívanou cestou, která kdysi vedla přímo od bývalého WC, až na vrchol Pravčické brány. Tato data byla pořízena přístrojem společnosti Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH během seznamovacího terénního průzkumu s danou lokalitou v dubnu 2013. Jako další zdroj byla využita data Ivo Brýdla (2012), konkrétně dva z jeho TIN digitálních modelů terénu - *tin_utm_filtered* se zachovalou Pravčickou bránou (dále jen *TIN Brýdl 1*) pro odečtení hodnot nadmořských výšek a *tin_utm_fitered_hole* s odstraněným útvarům brány (dále jen *TIN Brýdl 2*) pro závěrečnou vizualizaci. Tyto dva *Brýdl* modely byly orientované do polohového souřadnicového systému WGS84 UTM 33N a výškový systém v elipsoidických výškách. Protože většina práce probíhala jednotně v souřadnicovém systému S-JTSK, bylo nutné data transformovat, čemuž se věnuje kapitola 3. 2. 1.

3.1.2 Budovy

Pro věrné vymodelování budov bylo nejdříve nutné si jednotlivé objekty změřit. K tomu byl použit laserový dálkoměr Trimble LaserAce 1000 Rangefinder. Jednotlivé rozměry byly vždy měřeny několikrát, aby se vyloučila možnost zacílení na špatný bod (obvykle při měření vertikálních vzdáleností s přístrojem položeným na zem) či eventuální nedokonalý odraz laserového paprsku. Finální vizualizace jednotlivých budov byla řešena texturami z fotografií pořízených během sběru dat terénního šetření.

3.1.3 Tunel a převisy

Speciálním případem budovy může být nazváno „proražení“ tunelu skrz DMT v oblasti pod Pravčickou bránou. Tunel byl také (jako budovy) změřen pomocí laserového dálkoměru a následně zrekonstruován nikoli v aplikaci SketchUp, nýbrž pomocí nástrojů nadstavby 3D Analyst v softwaru ArcScene 10.2.

3.2 Příprava vstupních dat

3.2.1 Práce s geodetickými daty

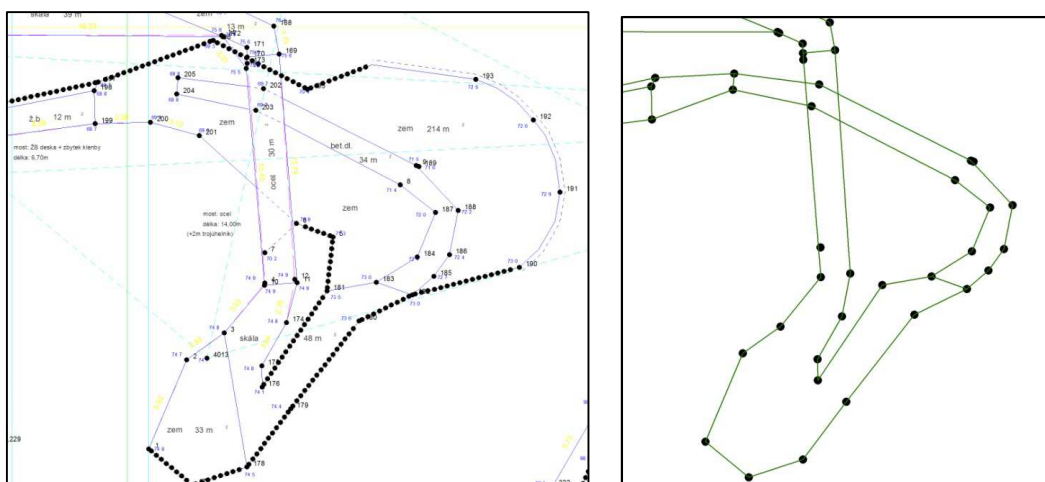
Práci na vytváření vlastní 3D databázi předcházelo založení nové ESRI geodatabáze v prostředí ArcGIS na nově vzniklá data (*ArcMap – New – Personal Geodatabase*). Některé nástroje vyžadovaly formát .shp, proto i data vzniklá jako součást (*Feature class*) databáze byla proto vždy dublována i pro případ zálohy do formátu *shapefile*.

Pro vytvoření 2D podkladů potřebných k tvorbě výsledné 3D vizualizace bylo vycházeno z geodetického zaměření cest ve formátu .dgn poskytnutých správou NP. Z tohoto souboru byla využita vrstva polylinií, popisující polohově jednotlivé segmenty cesty, a také vrstva bodů umístěných mezi nimi. Díky tomu nebylo nutné vrstvu bodů dodatečně vytvářet,

protože právě bodová vrstva velmi usnadnila přesun atributu obsahující nadmořskou výšku z bodů k sousedním liniím popsané v kapitole 3. 3. 2.

Nejdříve byla provedena manuální editace linií cest. Ve výkresu jsou mimo cest také zaměřené půdorysy budov, podpěrné zídky či nepravdivě široké cesty. Mnoho segmentů bylo proto vymazáno nejen na základě znalosti místa, ale zejména podle fotografií pořízených na místě. Často se jednalo o nepřehledné změti čar, kdy se po zaměřování v obtížném terénu nedalo z pouhého pohledu na výkres vždy s určitostí poznat okraje cest (viditelné na obrázku 10). Byla tedy editována jak bodová, tak liniová vrstva, protože bylo nezbytné, aby vznikla liniová vrstva se zároveň polohově přesně odpovídající bodovou vrstvou s bodem vždy na spojnici dvou linií a nikoli někde v blízkém okolí, jak se při zaměření např. žlabů často stávalo.

Obr. 10: Porovnání .dgn výkresu (vlevo) a autorem vytvořené vrstvy (vpravo)



Zdroj: vlastní tvorba z dat poskytnutých Správou NP

U jednotlivých linií byly ovšem při detailním prozkoumání odhaleny dílčí nedotahy/přetahy, proto bylo využito nástrojů z nadstavby Editing, a to konkrétně *Extend Line* pro vyřešení nedotahů a *Trim Line* způsobujícím vymazání přetahů. U obou nástrojů byla hodnota parametru nastavena na 0,1 m.

Geodetická data sice při vizuálním pohledu obsahovala veškeré nezbytné údaje (hlavně klíčový údaj o nadmořské výšce), ale při hlubším prozkoumání bylo zjištěno, že tento pro tuto práci zásadní atribut jednotlivých bodů, se ve výkresu pouze ve formě anotace (samostatného textu) a nikoli formou atributů (vlastností) jednotlivých prvků. Bylo tedy nutné nejenom data „pročistit“ od různých pomocných linií a čar, které byly použity pro měření, ale zároveň k jednotlivým bodům dopsat klíčový atribut, a to relativní nadmořskou výšku daného bodu.

Pokusy urychlit tento proces nástrojem *Near* (kterému předcházel proces konverzi anotací na body nástrojem *Feature to Point*, ze kterých by poté *Near* přenesl hodnotu výšek k bodům) se ukázaly jako kontraproduktivní, protože cesty vedou náročným terénem (příkré svahy, četné převisy, schodiště), tudíž se jednalo v těchto místech o velké shluky bodů, kde nástroj často chybně přiřadil hodnotu jiného bodu, což zvláště u případů, kdy se cesty částečně (ve 2D) překrývají a liší se pouze výškově, znamenalo fatální zkreslení a nepoužitelný výsledek. Následná kontrola každého bodu byla proto náročnější než nakonec zvolený způsob manuálního zadávání rel. výšek jednotlivě bod po bodu. Jelikož se jednalo o bezmála 1000 bodů, které ještě navíc nebyly podle svých FID číselných identifikátorů seřazeny logicky polohově vedle sebe, ale běžně se přeskakovalo s každým novým bodem do jiné části areálu, byla tato procedura poměrně časově náročná. Tímto tedy vznikla bodová vrstva, kde každý bod měl v atributové tabulce svůj údaj obsahující relativní výšku. Zde je ještě záhodno doplnit, že nejnižší bod areálu se nacházel v relativní výšce 52,3 m a naopak nejvyšší ve 30,8 m. Hodnota 0 ve výkresu tedy znamenala 100 v jeho relativním souřadnicovém systému. Pro správné přepočty do výškového souř. systému BPV byla 0 nahrazena hodnotou 100, díky čemuž bylo rozmezí upraveno na 52,3 – 130,8.

3.2.2 Transformace digitálních modelů terénu

Jak již bylo řečeno v úvodu, jako základ digitálního modelu terénu bylo využito 2,5D TINu od I. Brýdla (2012), který odfiltroval mimo jiné vegetaci a body reprezentující objekt Pravčické brány.

Protože TIN reprezentaci povrchu nelze jednoduše přetransformovat nástrojem *Project*, byl nejprve byl *TIN Brýdl 2* rozložen funkcí *Tin Node* (z nadstavby 3D Analyst) na jednotlivé body. Poté funkcí *Project* bylo toto bodové mračno převedeno ze souřadnicového systému UTM 33N do S-JTSK.

Zde se nabízí úvaha, proč nebylo využito přesnějšího konvertéru mezi souřadnicovými systémy, nacházejícího se na webových stránkách ČÚZK (popisováno v kapitole 3. 3. 1), než nástrojem v aplikaci ArcGIS. Jiný způsob jsem zvolil z několika důvodů. Za prvé - online konvertor zvládne pouze omezené množství dat najednou, proto by nebylo příliš vhodné rozkládat soubor se souřadnicemi bodů na 30 menších a posléze je zase skládat dohromady. Za druhé - konvertoru bylo využito u geodeticky zaměřených bodů, kde se předpokládá chyba měření v rámci několika málo jednotek centimetrů. U bodů, vzniklých rozložením digitálního modelu se střední polohovou chybou pohybující se v závislosti na pořízení dat okolo 30 cm, nebylo nutné transformovat body s přesností v řádu centimetrů, když už s takovou odchylkou vstupují do zpracování.

3.2.3 Transformace 3D modelu Pravčické brány

Objekt vytvořený I. Brýdlem (2012) byl, stejně jako všechny jeho data, v souř. systému UTM 33N, proto musel být transformován do souř. systému S-JTSK. Samotná transformace proběhla pomocí nástroje *Project*, poté ovšem bylo nezbytné sladit výškové systémy a posunout model o 43,39 m níže, než jak byl původně umístěn v elipsoidických výškách (vysvětleno v následující kapitole 3. 3. 1). Zde se ovšem projevil opět problém s neuzavřením multipatche, kdy samotný objekt brány byl složen z bezmála 140 000 částí. Bylo proto nejprve nezbytné pomocí nástroje *Merge* z menu Editor postupně slučovat objekty, protože nástroj *Edit Placement* posunutí multipatche při takovém množství objektů nikdy úspěšně nedokončil. Postupováno bylo po 10 000 objektech a podařilo se celkový počet snížit na 396 objektů, kdy při pokusu o sloučení i těchto posledních vždy ArcGIS přestal odpovídat. Ačkoli brána nebyla sloučená od jednoho objektu, ukázalo se, že stačilo původní počet objektů zredukovat a poté již s využitím nástroje *Edit Placement* šla brána posunout.

3.3 Tvorba dolní cesty

3.3.1 Získání nadmořské výšky nuly relativního výškového systému

Jak je již uvedeno v kapitole 5. 2. 1, geodetická data obsahovala pouze relativní výšky, které bylo třeba přepočítat do skutečných nadmořských výšek, resp. zjistit vztah, kolik metrů nad mořem v Bpv odpovídá 0 v relativním výškovém systému. Získávání hodnot skutečných nadmořských výšek probíhalo ze dvou digitálních modelů terénu v prostředí ArcMap. Pomocí nástroje *Extract values to points* (umí odečítat hodnoty pouze z rastru) a *Add surface information* (pro odečtení hodnot z TINu) proběhlo zjištění hodnot nadmořských výšek z jednotlivých DMT.

První z nich byl poskytnut správou NP a jednalo se o model reliéfu vytvořený z dat leteckého laserového skenování systémem FALCON II, který používá německá firma TopoSys. U tohoto skeneru je stejně jako u většiny ostatních leteckých laserových skenerů povrch snímán ve dvou směrech současně, díky čemuž se výrazně zvětšuje plocha území, jež skener dokáže nasnímat během jediného přeletu. Model reliéfu byl vytvořen pouze automatizovanými postupy, což vzhledem k náročnému reliéfu znamenalo nepřesné zakreslení některých částí. (Trommler, 2007). Samotný útvar Pravčické brány je o modelu zachycen chybně (stínovaný model ukazoval rozdrobení na dva kusy). Z těchto důvodů s výsledky získanými z tohoto modelu nebylo v následných výpočtech pracováno.

Druhý model terénu byl převzat od I. Brýdla, který vznikl z téhož mračna dat leteckého laserového skenování. Jak sám detailně popisuje tvůrce ve své práci (2012), výslednému 2,5D modelu terénu předcházely rozsáhlé manuální úpravy znamenající výrazné zkvalitnění výsledku. Ze stručnosti pouze uvedu, že prvotně byl použit na bodové mračno z

Lidaru software Alpdar a filtrační algoritmus *Adaptive TIN*, který ukázal jako nejvhodnější pro podmínky panující v oblasti Pravčické brány, jako jsou strmé stěny a srázy či svažité terén pokrytý vegetací (Brýdl, 2012). Následně ještě Brýdl manuálně editoval TIN za pomoci snímku z ortofotomapy a znalosti zkoumané lokality tak, že zcela odfiltroval oblouk Pravčické brány, který ve své práci nahradil samostatným 3D modelem. Pro mé potřeby získávání nadmořských výšek byla zvolena jako nejvýhodnější upravená 2,5D reprezentace terénu s odfiltrovanou vegetací, ale ještě se zachovalou reprezentací brány (*TIN Brýdl 1*).

Nutným mezikrokem ovšem bylo sladění souřadnicových systémů, kdy Brýdl (2012) pracoval ve WGS 1984 UTM Zone 33N, zatímco moje práce je orientována do S-JTSK. Aby se nemusel transformovat celý jeho TIN, bylo výhodnější transformovat bodovou vrstvu z geodetického výkresu do UTM 33N, s využitím přesné transformace.

Pro získání nadmořských výšek z jeho DMT bylo proto využito volně dostupné online služby INSPIRE - transformace souřadnic dostupné na ([http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(sbxio45defezc45aodyllmn\)\)/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=TextMeta&text=wcts&menu=19](http://geoportal.cuzk.cz/(S(sbxio45defezc45aodyllmn))/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=TextMeta&text=wcts&menu=19)), jenž má garantovanou přesnost do 3 cm, oproti nástroji pro transformaci *Project* nabízenou v prostředí ArcGIS, který může mít dle zkušeností odchylku v řádech až jednotek metru. Do webového konvertéru byly vloženy souřadnice s přesností na 3 desetinná místa (v podobě ID -Y -X Z) ve formátu textového souboru .txt. Po úspěšné transformaci znamenalo malou komplikaci zpětné zrekonstruování bodů v prostředí ArcMap. Program totiž vyžaduje pro načtení externích dat formát souboru MS Excel (.xls či .xlsx). Software MS Excel umožňuje importu dat přímo z textových souborů na základě různých způsobů oddělení sloupců a nebylo proto nutné překontrolovat každý řádek a doplňovat mezery či nuly (viz obrázek 11), aby počet desetinných míst zůstal vždy zachován.

Obr. 11: Náhled přetransformovaných souřadnic v textovém souboru

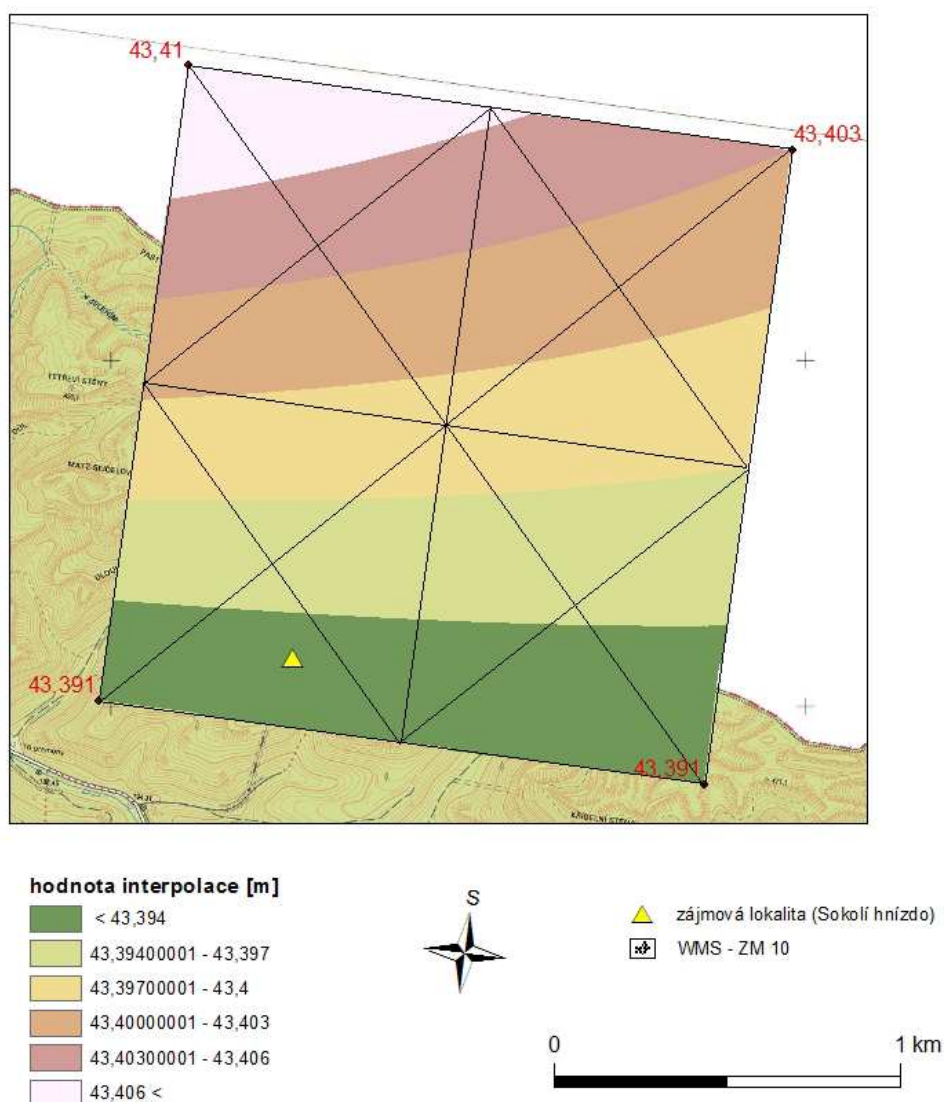
909	5637158.548	449371.107	385.526
915	5637157.762	449375.781	385.55
868	5637162.32	449387.267	385.604
913	5637158.509	449376.982	385.644
872	5637160.773	449375.925	385.879
869	5637160.94	449383.898	386.022
911	5637161.349	449377.506	386.2
870	5637160.751	449381.3	386.621
871	5637161.546	449378.657	386.647
910	5637160.81	449381.07	386.755
861	5637166.973	449399.178	386.848
978	5637159.339	449370.559	386.891
860	5637167.003	449398.313	387.747
853	5637167.12	449405.871	388.226
854	5637167.639	449409.214	388.632
852	5637169.111	449405.567	388.824

Zdroj: vlastní tvorba

Tímto importem souřadnic do software MS Excel a následně do programu ArcMap (*File – Add Data – Add XY data*) byla získána 2D bodová vrstva. Z té poté byly získány hodnoty elipsoidické nadmořské výšky v jednotlivých bodech (pomocí nástroje *Add surface information*) z *TINu Brýdl 1*. Jak již bylo řečeno v úvodní rešerši - pro získání hodnoty absolutní nadmořské výšky, počítané od střední hladiny moře (měřené ke geoidu), z této elipsoidické výšky (měřené k elipsoidu), bylo potřeba ještě odečíst hodnotu rozdílu mezi nimi. Jelikož se jednalo o malé území, bylo rozhodnuto, že rozdíl mezi elipsoidickými výškami a geoidem (resp. Bpv) lze považovat pro dané území za konstantní. K interpolaci byla využita data z kvazigeoidu pro Českou republiku CR-2005 dostupných online (ČÚZK, 2014).

Ze čtyř nejbližších bodů zájmového území byla tedy v prostředí ArcMap pomocí nadstavby Spatial Join provedena interpolace, jejíž výsledek je na obrázku 12. Vzhledem k faktu, že se interpolovalo území z pouhých čtyř bodů, zúžil se výběr interpolačních algoritmů dle Křikavové (2009) na metodu přirozeného souseda (Natural Neighbour), Inverse Distance Weighting (IDW) a Spline. Byly vyzkoušeny všechny tři nástroje s různými možnostmi nastavení, avšak výsledky byly u všech zmíněných nástrojů velmi podobné, jednotlivé rozdíly v bodě zájmového území se mírně lišily vždy až na třetím desetinném místě. Nakonec byla zvolena metoda nejbližšího souseda, i když zde není žádná možnost nastavení, proces výpočtu nejlépe odpovídá omezeným možnostem nízkého počtu bodů. Výsledné číslo, se kterým bylo dále pracováno, byla hodnota 43,39 m. Odečtení hodnoty kvazigeoidu probíhalo automaticky v aplikaci MS Excel.

Obr 12: Interpolace metodou přirozeného souseda



Zdroj: vlastní tvorba

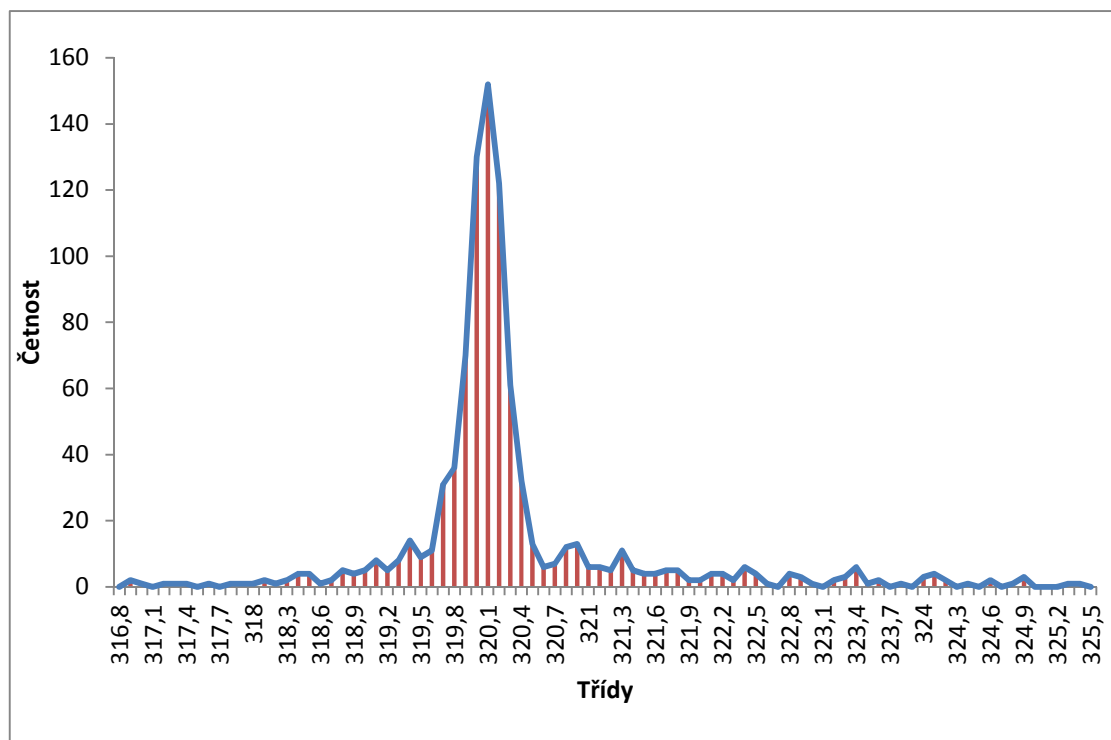
Po odečtení hodnoty kvazigeoidu by v ideálním případě mělo u všech bodů vyjít stejné číslo, znamenající skutečnou výšku v Bpv pro hodnotu 0 (či 100) relativní výšky. Když totiž od elipsoidické výšky odečteme hodnotu kvazigeoidu, dostaneme výšku nadmořskou. Když od nadmořské výšky odečteme relativní hodnoty, měli bychom v ideálním případě dostat pro všechny body stejnou hodnotu odpovídající nule relativního výškového systému.

Z grafu vykresleného z hodnot výše bylo zjištěno, že data oscilují kolem určité střední hodnoty, určující klíčovou hodnotu 0 relativní výšky v m. n. m. Zároveň se v datovém souboru vyskytují odlehlá pozorování, která je nutné odstranit, protože by střední hodnotu negativně ovlivnily.

K prostému průměru z testovaného vzorku (321,065) byla přičtena a odečtena hodnota směrodatné odchylky (4,341) a zahozeno 10,34 % krajních odlehlých pozorování. Konkrétně z celkového počtu 993 hodnot bylo odstraněno celkem 96 měření mimo stanovené rozmezí (316,7 m – 325,4 m). Jednalo se tedy ve 20 případech o hodnoty nižší než uvedené rozmezí. To jsou zřejmě body ležící blízko okrajů plošin, které jsou v modelu chybně vyhlazeny a výška těchto bodů v modelu je nižší než skutečná. V 76 případech šlo o hodnoty vyšší, než uvedené rozmezí. V tomto případě se zřejmě jednalo o převisy, kde byly body na cestě pod přečnívající skálou, avšak v 2,5D modelu terénu byla odečtena výška až na skále vysoko nad ním.

V grafu č. 1 lze vidět výsledný reprezentativní vzorek dat, zbavený odlehlých pozorování, ze kterých se znovu spočítal aritmetický průměr (což je dobrý odhad střední hodnoty), definovaný jako součet všech hodnot proměnné X_i dělený počtem hodnot.

Graf 1: Gaussova křivka aplikovaná na upravená data zbavená odlehlých pozorování



Zdroj: vlastní tvorba

Střední hodnota byla skutečně ovlivněna, neboť z průměru těchto reprezentativních pozorování vyšla hodnota 320,244 m. n. m., tedy **420,244 m. n. m.** po přičtení hodnoty sto (v důsledku prvotního odečtení v rámci zachování správnosti výpočtu a zvýšení přehlednosti výškového rozmezí v zájmové lokalitě). Tato hodnota se tedy rovná relativní výšce 0 v geodetickém souřadném systému použitém ve výkresu. Nyní již stačilo pouze k jednotlivým relativním výškám přiřadit výslednou hodnotu nadmořské výšky

v souřadnicovém systému Bpv v programu MS Excel a překopírováním přidat do atributové tabulky vrstvy bodů další sloupec.

Zde se nabízelo porovnání, jakých výsledků by bylo dosaženo při počítání s digitálním modelem terénu od Správy NP, který nebyl nijak sofistikovaně editován podle reality a ponechán jako nezměněná naskenovaná data. Bylo postupováno zcela identicky, průměr ze všech hodnot vyšel 320,533 m. n. m. (tedy 420,533 m. n. m.) a směrodatná odchylka 4,137. Zahozeno bylo 45 menších a 85 větších hodnot než vymezené rozmezí (tedy více než v prvním případě). Po zanedbání odlehlých pozorování byl vypočítán aritmetický průměr, neboli střední hodnota 320,113 m. n. m., tedy 420,113 m. n. m.

Jak již bylo řečeno v úvodu, s výsledkem získaným z modelu od Správy NP nebylo dále počítáno, i když se oba modely ve výsledku lišily pouze o 0,131 m.

3.3.2 Přidání atributu nadmořské výšky k liniím cesty

Pro tento krok byla využita bodová vrstva obsahující relativní a absolutní výšku každého bodu získaná dříve. Cílem bylo vytvoření vrstvy polylinií, resp. jednotlivých fragmentů cesty, z nichž každý by měl obsahovat atribut výšky začátku a konce (v souřadnicovém systému Bpv) jednotlivých linií, potřebný pro následný převod do 3D.

Nejdříve byl ve vrstvě s liniovými prvky vytvořen v atributové tabulce sloupec nových číselných identifikátorů „newID“, kde bylo každému prvku přiřazeno číslo v rozmezí 1 až 993. Na takto upravenou vrstvu byl použit dvakrát nástroj *Feature Vertices to Points*, který posloužil k vytvoření bodové vrstvy v závislosti na zadaném nastavení. Nejdříve byla zvolena možnost START, k vytvoření bodové vrstvy s body na počátku každé linie a následně s volbou END pro vytvoření vrstvy s body na konci každé linie. Do těchto nově vytvořených vrstev byly přeneseny veškeré atributy z původní liniové vrstvy, tedy i „newID“ prvků.

Jako další krok byl použit nástroj *Spatial join*. Tento nástroj pracuje způsobem, že ze zvolených vrstev „přenáší“ prvkům polohově shodným v obou vrstvách vybrané atributy. Byl tedy taktéž použit dvakrát, a jeho pomocí bylo docíleno přenesení atributů absolutních výšek z původní vrstvy obsahující všechny body v areálu do obou nově vytvořených bodových vrstev označujících začátky a konce linií.

Nyní již zbývalo pouze z těchto dvou vrstev přenést jejich atribut výšky k linii, která dotyčný začátek s koncem spojovala. Toho bylo docíleno nástrojem *Join field*, jemuž bylo vždy zadáno propojení na základě atributu „NewID“ vytvořeného na začátku tohoto procesu. Tímto vznikly v atributové tabulce liniové vrstvy dva nové sloupce obsahující počáteční výšku linií z bodové vrstvy začátků a konečnou výšku linií z bodové vrstvy konců.

Tento automatický postup nebyl bohužel aplikovatelný i při tvorbě schodišť, proto je tento postup popsán v samostatné kapitole.

3.4 Tvorba horní cesty po Pravčické bráně

3.4.1 Georeferencování dat

Georeferencování naskenovaného snímku zobrazujícího vrchol Pravčické brány pohledem shora probíhalo v programu ArcMap. Nejdříve však byly do tohoto softwaru importovány vlastní zaměřené GPS body, na které byl předtím aplikován proces postprocessingu. Software, ve kterém byl postprocessing prováděn, umožňoval vyexportování výsledku jak ve formátu *Shapefile*, tak ve formátu *.mdb* užívaném softwarem MS Access. Do *shapefile* byla vyexportována pouze data v zeměpisných souřadnicích, což jsou sférické absolutní souřadnice, které byly pro tuto práci nepoužitelné. Proto bylo využito možnosti převést si data (v souř. systému S-JTSK nalézajících se v *.mdb* souboru) prostým překopírováním do souboru *.xlsx*, využívaného softwarem MS Excel. Data v tomto formátu je možné následně zobrazit v aplikaci ArcMap (*File – Add Data – Add XY data...*) a dále s nimi pracovat.

Celkem bylo provedeno zaměření 9 bodů GPS přístrojem na cestě vedoucí po horní části Pravčické brány (viz tabulka 2), od jejího nejzazšího konce (čela) k základům bývalého můstku spojujícího přístupovou cestu k vyhlídkám na vedlejším skalním masivu s cestou na horní část Pravčické brány.

Tab. 2: Přesnosti jednotlivých zaměřených bodů

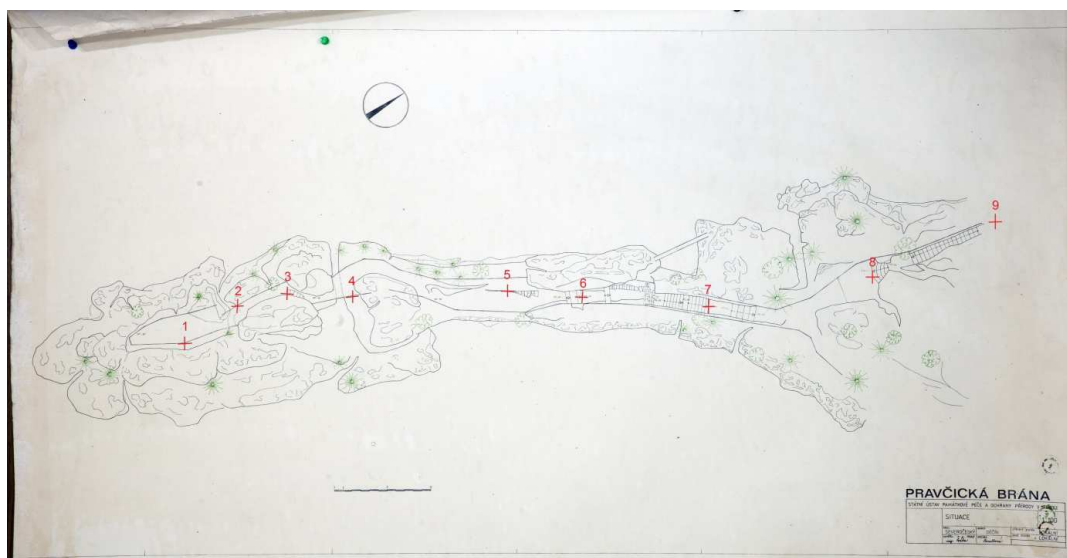
Číslo bodu	Horizontální přesnost [m]
1	0,111
2	0,209
3	0,860
4	0,188
5	0,154
6	0,116
7	0,484
8	0,623
9	0,138

Zdroj: vlastní tvorba

Pro samotné provedení georeferencování naskenovaného náčrtu do souř. systému S-JTSK byl nejdříve k dříve zobrazené vrstvě zaměřených GPS bodů zobrazen také samotný obrázek ve formátu JPEG. Poté byl zapnut Toolbar *Georeferencing*, v něm vybrána konkrétní vrstva a pomocí nástroje *Fit to display* byl obrázek umístěn do blízkosti zájmového území. Následoval logický výběr vlčivacích bodů, s ohledem na horizontální odchylku jednotlivých

naměřených bodů. Zde je nutné zmínit, že tato procedura byla provedena dvakrát, neboť při prvotním zgeoreferencování snímku podle nejvýhodnějších bodů na okrajích snímku (bod 1 a 8) a vektorovém zakreslení horní cesty nebylo možné cestu uspokojivě napojit na geodetické zaměření základů můstku k vyhlídkám, jak se ukázalo posléze i v digitálním modelu terénu, kdy schodiště polohově neodpovídalo zářezu v DMR. Bylo tedy nutné dodržet co nejpřesnější napojení této nově vytvořené vektorové cesty, vedoucí k torzu můstku zakresleného již v geodetickém výkresu dolních cest. Využil jsem proto nakonec bodů 1 a 7, jejichž poloha je patrná na obrázku 13.

Obr. 13: Vlastní zaměřené GPS body



Zdroj: vlastní tvorba

Poté nástrojem *Add control points* bylo započato samotné spojování shodných bodů, kdy je nutné nejdříve vybrat (kliknout) na snímek určený ke georeferencování a následně na vybraný bod ve druhém snímku. Průběh spojování vlíčovacích bodů je možno sledovat (zde na obrázku 14) při kliknutí na ikonu *View link table* v toolbaru, kde je možnost se dozvědět, jaká je odchylka v systému S-JTSK i pixelových souřadnicích sebraných bodů.

Obr. 14: Tabulka spojovacích bodů

Link								
			Total RMS Error:		Forward:8,23181e-011			
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
1	900,222473	-1700,138999	-740499,405000	-953924,700000	0	0	0	
2	3563,692031	-1513,727106	-740455,091000	-953885,368000	0	-1,16415e-010	1,16415e-010	

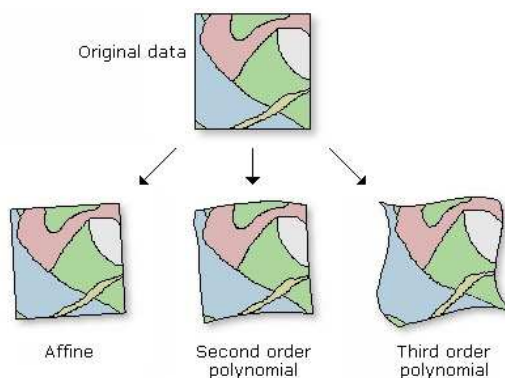
☒ Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

☐ Degrées Minutes Seconds

Zdroj: vlastní tvorba

Dále je zde možné si zvolit výslednou transformaci – prvního, druhého či třetího řádu nebo adjust (znázorněno na obrázku 15). Vzhledem k malé velikosti zájmového území a nízké četnosti zaměřených bodů bylo využito minimálního počtu dvou bodů nutných k transformaci v rovině (posun a otočení) a zvolena byla podobnostní transformace (speciální případ Afinní transformace).

Obr. 15: Různé transformace v prostředí GIS



Zdroj: ESRI, 2014

Finální transformaci provedeme výběrem možnosti *Rectify*, které vybereme v toolbaru po kliknutí na *Georeferencing*. Zde byla vybrána z možností samotné transformace metoda *Nearest Neighbour* a transformovaný snímek uložen ve formátu TIFF.

3.4.2 Vektorizace

Po výše popsaném zgeoreferencování JPEG obrázku bylo dalším krokem k vytvoření 3D linií, reprezentující cestu po Pravčické bráně, samotné nakreslení linií. Z naskenovaného obrázku nebylo vždy zcela patrné, kudy cesta prochází, tudíž bylo hojně využito i vlastních fotografií pořízených na místě při terénním šetření.

V geodatabázi byla tedy vytvořena nová liniová *Feature Class*, do které po zapnutí editoru byla cesta obkreslena z obrázku spolu se všemi náležitostmi, jako např. schody.

Samotný postup, kterým bylo docíleno zapsání atributu výšek jednotlivým polyliniím, zde nebyl tak složitý, jako v případě areálu spodních cest, a to zejména díky malé rozloze a pouze 12 výškovým bodům ve výkresu. Tvorba schodiště je shodná jako v případě dat ze spodní části areálu a je popsána ve speciální kapitole 3. 5. 1.

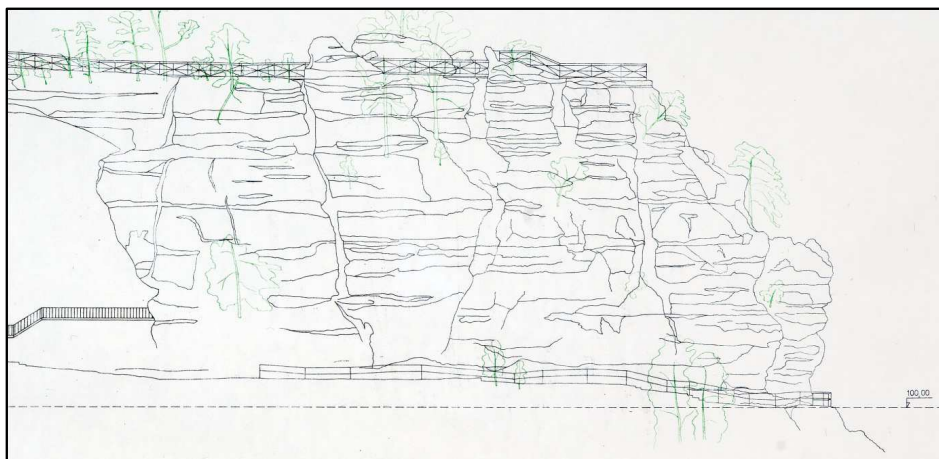
3.4.3 Zjištění nadmořské výšky nuly relativního výškového systému:

Na vyfotografovaném výkresu, poskytnutém správou NP, bylo zakresleno celkem 12 výškových bodů z geodetického zaměření. Tento výškový relativní systém z letitého nákresu se logicky neshodoval s relativním výškovým systémem v moderním geodetickém zaměření

přístupových cest ve spodní části areálu. Spolu s výkresem, kde byl pohled na bránu shora, správa NP dodala také dva výkresy zobrazující Pravčickou bránu z obou bočních pohledů, kdy na každém byla zakreslena vodorovnou linií výšková hladina, na které se nacházela hodnota 100 relativního výškového systému výkresu. Proto ve snaze výkres výškově sjednotit s již získanými hodnotami z nového geodetického zaměření, bylo postupováno následovně.

Na snímku ze západního pohledu je jasně viditelná linie dotýkající se nejnižšího bodu cesty na vyhlídku v masivu pod Pravčickou bránou (na obrázku 16). Ze současného zaměření této pěšiny byla určena hodnota výšky právě tohoto bodu (416,844 m. n. m.) a stanovena tím hodnota 100 výškového systému horní cesty po bráně. Zbylé hodnoty se již snadno dopočítaly v programu MS Excel (viz tabulka 1) a přiřazeny do atributové tabulky liniové vrstvy.

Obr. 16: Určení hodnoty 100 pro cestu po vrcholu PB



Zdroj: Výkres poskytnutý Správou NP

Tab. 1: Výškově zaměřené body na naskenovaném výkresu

relativní výška [m]	skutečná výška [m]
100	416,844
121,1	437,944
121,22	438,064
121,36	438,204
121,97	438,814
122,09	438,934
124,59	441,434
125,78	442,624
126,97	443,814
127,24	444,084
127,88	444,724
128,09	444,934
128,73	445,574

Zdroj: vlastní tvorba

3.5 Tvorba 3D

Na takto připravenou vrstvu byl použit nástroj *Feature to 3D by attribute*, kam byl nastaven sloupec znamenající výšku počátečního a koncového bodu a jež z původní 2D vrstvy vytvořil 3D vrstvu.

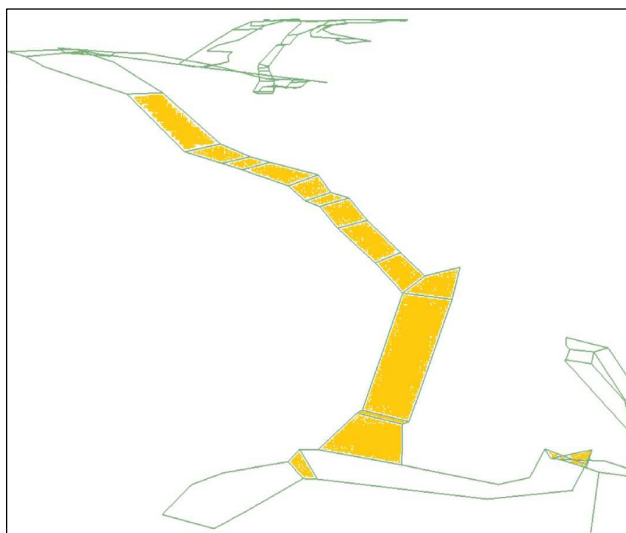
Tato vytvořená vrstva po zobrazení v prostředí ArcScene ukazovala množství defektních linií propadlých z jedné či obou stran do výšky 0 m. n. m, jak lze vidět na obrázku 17. Řešením byla opět manuální editace ve 2D v prostředí ArcMap, kdy bylo postupováno po jednotlivých problémech. Ve většině případů bylo u „postižených“ linií nutné nahlédnout do geodetického .dgn souboru, přečíst výšku nejbližšího známého bodu a doplnit ji místo nulové hodnoty atributu. Takto bylo postupováno u hran cest, avšak mnoho dalších deformovaných linií pocházelo z linií nacházejících se na ploše samotné cesty, které vymezovaly objekty, plošky či zlomy. Ve většině případů byla snaha maximum těchto prvků zachovat, avšak často se jednalo pouze o nijak výškově zajímavé souběžné linie s okrajem cest, bez údaje o výšce. Na některých místech proto byly v rámci zpřehlednění objekty plošek a zlomů vymazány.

Obr. 17: Vizualizace scény po prvním vytvoření 3D vrstvy cest

Zdroj: vlastní tvorba

3.5.1 Schody:

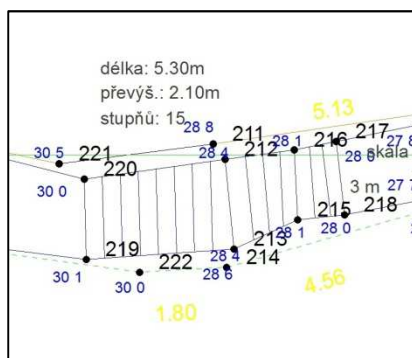
Po odstranění nedostatků týkající se chybějícího atributu výšky u linií vymežující cesty bylo potřeba přesně vykreslit jednotlivé výškové stupně často se vyskytujících schodišť (znázorněných oranžově na obrázku 18). Pro tvorbu schodů se ukázalo jako nezbytné rozdělit boční linie vymežující schodiště na jednotlivé segmenty. Na rozdělení byl použit nástroj *Feature to Line* z nadstavby Data management, který při každém doteku dvou linií rozdělil linii na jednotlivé části ohraničené vertexy.

Obr. č. 18: Barevně označena původní oblast schodiště v oblasti cesty

Zdroj: vlastní tvorba

Postupováno bylo dle úvahy, že nejdříve je potřeba vymodelovat horizontální plošky schodů v požadovaném počtu (tuto proceduru usnadnil doplňující popis geodetického výkresu, kde u každého schodiště byly dopsány tři popisky, z nichž klíčový byl počet stupňů, díky čemuž nebylo nutné schody vždy odečítat z fotografií mimo pár kontrolních příkladů), a následně doplnit tyto plošky vertikálními spojnicemi jdoucích z rohů každého stupně. Výřez geodetického výkresu zobrazuje obrázek 19.

Obr. 19: Ukázka geodetického výkresu s popisem schodiště schodů



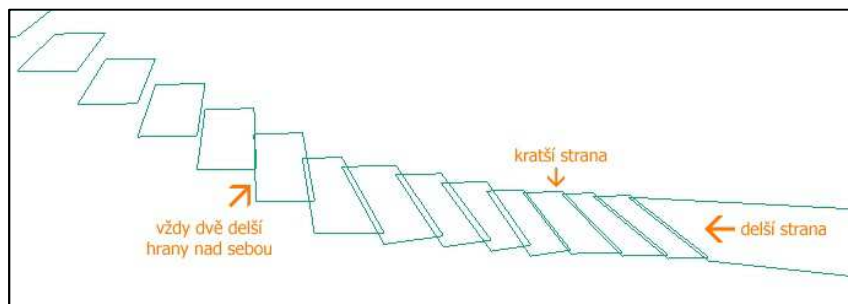
Zdroj: vlastní tvorba

Nejdříve byla tedy podle převýšení a počtu stupňů rozpočítána výška každého schodu na každé boční (kratší) straně v SW MS Excel. Jelikož se často lišilo celkové převýšení na levé a pravé straně, vznikly schody ukloněné k jedné straně.

Horizontální plošky by nebylo možné vytvořit bez nadublování každé přední a zadní (delší) linie ohraničující hranu schodu, čímž bylo možné tak odlišit konec nižšího a začátek vyššího stupně, protože ve schodišti jsou tyto prvky vždy dva nad sebou (viz obrázek 20).

Po nakopírování těchto linií jim byla zapsána podle orientace čáry do atributové tabulky hodnota výšky začátku a konce linie, totéž pro opačnou stranu. Zároveň byl zapsán stejný výškový atribut i boční linii, která je spojovala. Tímto vznikla horizontální ploška vymezující jeden stupeň schodiště (obrázek 20 a 21)

Obr. 20: Jednotlivé výškové stupně schodiště

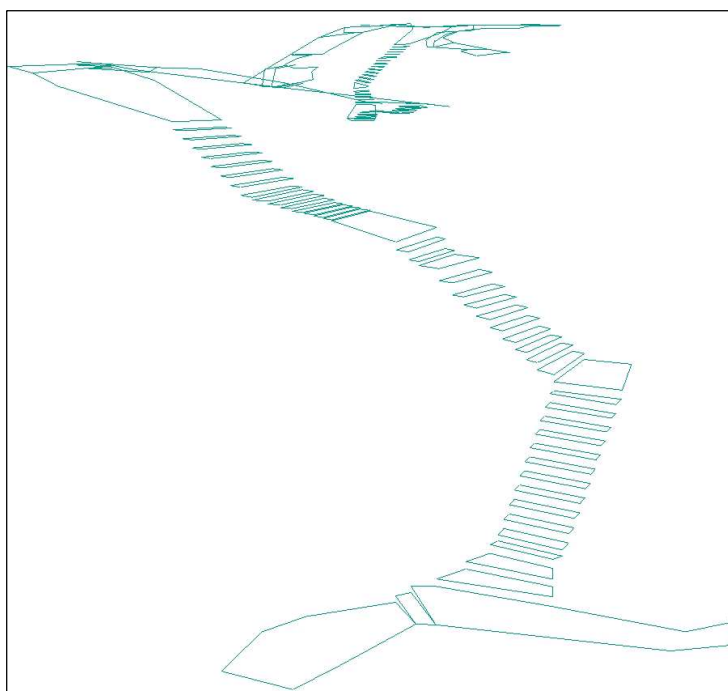


Zdroj: vlastní tvorba

Nabízela se možnost pomocí nástroje *Join field* připojit k liniím atributy automaticky, avšak právě kvůli dvojici linií nacházejících se nad sebou po připojení hodnot nástrojem vznikl zmatek, a bylo nutné dodatečně přepsat atribut druhé linie. Hodnoty byly tedy zadávány manuálně kopírováním z výše zmíněného tabulkového softwaru, což bylo časově náročné.

Drobné problémy také nastaly u schodišť s pouze dvěma stupni, kdy bylo nutné výšku stupně vypočítat aritmetickým průměrem a nikoli prostým vydělením převýšení počtem stupňů.

obr. č. 21: Výsledné plošky jednotlivých schodů

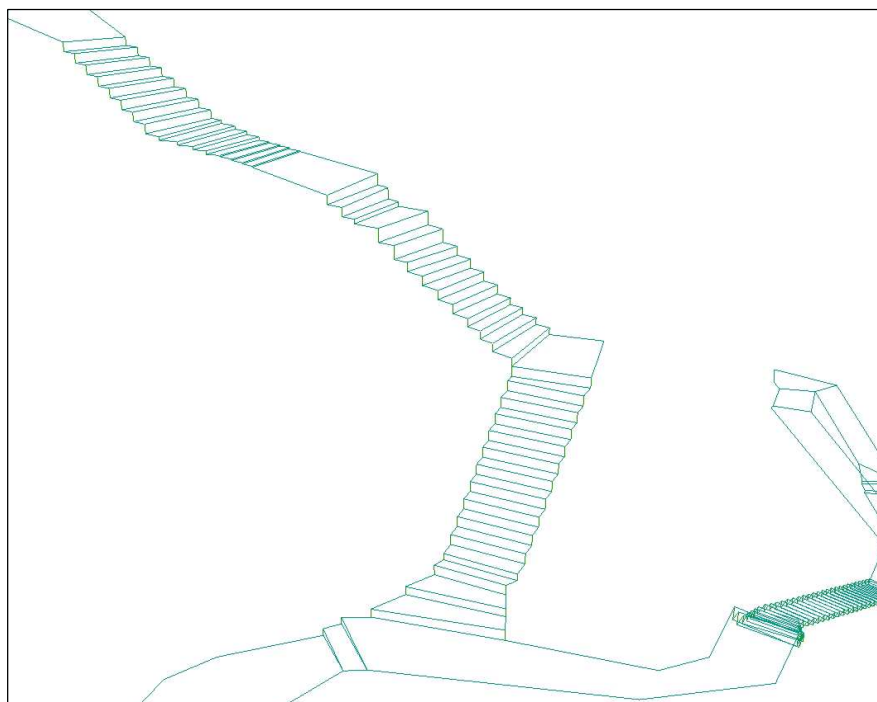


Zdroj: vlastní tvorba

3.5.2 Vertikální linie u schodišť

Vertikální linie, spojující jednotlivé výškové stupně schodů, byla řešena pomocí Python skriptu poskytnutého RNDr. Lysákem. Upravování a samotné spouštění skriptu bylo realizováno s využitím software Total Commander.

Tento nástroj generoval linie na základě adresné cesty k bodové vrstvě, kdy u jednotlivých bodů byly vytvořeny atributy výšky mezi dvěma následujícími schody. Z těchto dvou atributů byla vytvořena vertikální linie začínající a končící v zadané výšce (výsledek viditelný na obrázku 22). Samotné vygenerování bodové vrstvy bylo realizováno pomocí nástroje *Feature to point*, nastaveného na možnost *START*, kdy byly ponechány body pouze v oblastech schodišť, ostatní byly vymazány.

Obr. 22: Výsledné schodiště

Zdroj: vlastní tvorba

3.6 Tvorba modelu terénu pro závěrečnou vizualizaci

3.6.1 Tvorba tunelu a převisů

Tvorba tunelu a převisů byla realizována v těchto krocích:

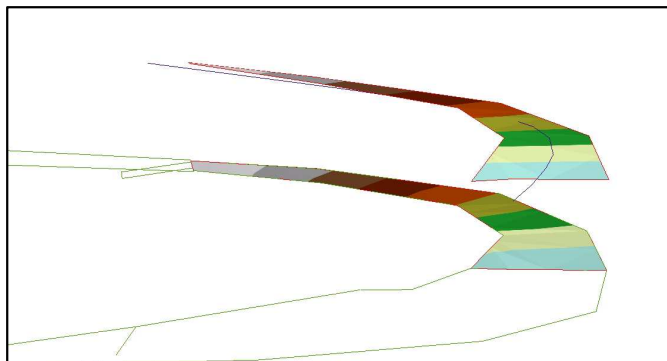
1. vytvoření tunelu jako 3D modelu v prostředí ArcScene
2. odstranění textury TIN-u v oblasti tunelu odečtením vytvořeného 3D objektu

Tvorba tunelu a převisů probíhala stejným způsobem, podrobně tedy popíši pouze tvorbu tunelu.

Samotný objekt tunelu byl vytvořen po několika částech. Nejdříve byl vymodelován kvádrový základ. Toho bylo docíleno tvorbou polygonu, který věrně kopíroval polohu cesty a dvou obdélníkových TINů reprezentujících spodní základnu a strop tunelu ve výšce přibližně dvou třetin celkové výšky (viditelné na obrázku 23). Samotné TINy byly vytvořeny každý z nově vytvořené bodové vrstvy, kdy každá obsahovala minimálně čtyři body, vždy v rozích obdélníku, při složitějším tvaru bylo bodů více. Bodům byl doplněn atribut výšky, jenž byl dopočítán ze známých výšek okolních linií. Ve většině případů nebylo potřeba přidávat více bodů, protože tvar TINů nemusel věrně kopírovat trasu cesty. Samotný kvádr byl vytvořen pomocí funkce *Extrude Between*, kdy tyto TINy posloužily jako výškové ohraničení, mezi

nimiž byl podle polygonu odpovídajícího půdorysu tunelu, resp. převisu, vytvořen 3D multipatch ve tvaru kváдру.

Obr. 23: Podlahový a stropní TIN pro funkci *Extrude Between*

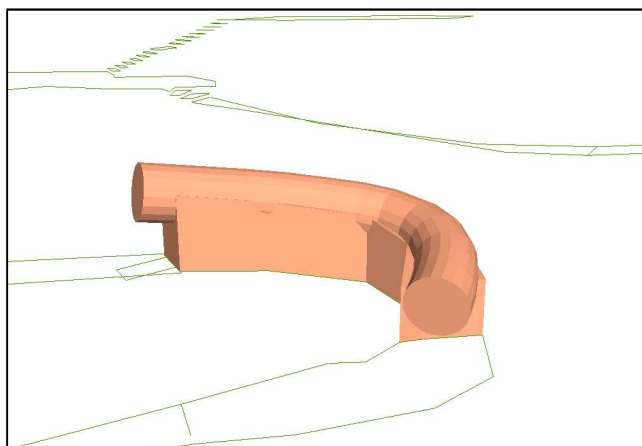


Zdroj: vlastní tvorba

Další částí bylo vytvoření osy cesty ve výšce stropu kváдру. Původní geodetický náčrtek již vrstvu popisující osu pěšin obsahoval, tudíž stačilo úsek v zájmovém území tunelu obkreslit. Mnou vytvořený model byl ovšem pozičně mírně upraven podle skutečnosti, zároveň tedy byla zpřesněna i osa. Kolem této linie byl posléze vytvořen 3D buffer nástrojem *3D Buffer* o poloměru 1 metr, bráno podle rozměrů vstupů do tunelu, které byly široké dva metry. Díky tomu vznikl útvar reprezentující půlkruhovou klenbu stropu tunelu.

Posledním krokem bylo spojení těchto dvou útvarů do jednoho, jenž bylo provedeno nejprve nástrojem *Merge*, který vytvořil útvar s dvěma rozlišenými atributy obou částí, a poté *Union 3D*, čímž vznikl multipatch bez rozlišení částí a reprezentující objem tunelu (mírně přecházející nad terén), jak lze vidět na obrázku 24.

Obr. 24: Hotový model tunelu



Zdroj: vlastní tvorba

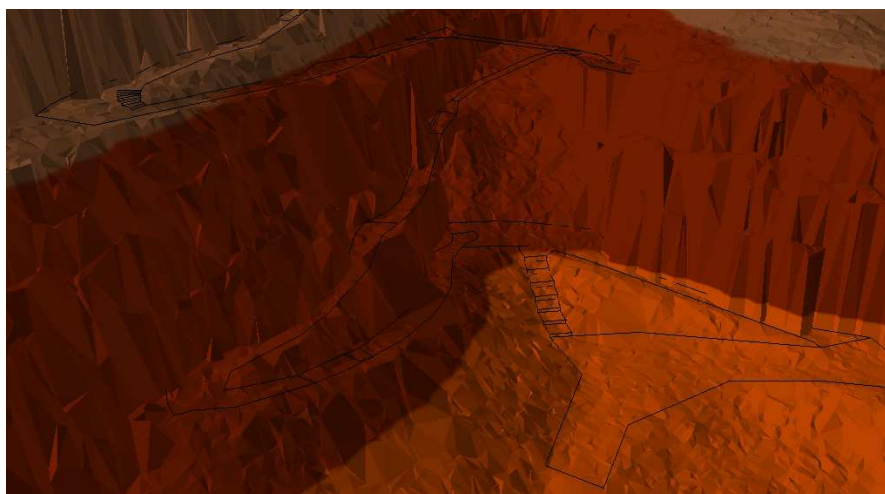
3.6.2 Tvorba digitálního modelu terénu

Postupováno bylo dle úvahy, že je potřeba integrovat do TIN modelu povrchu (v S-JTSK) liniovou vrstvu cest, aby se cesta střídavě neztrácela pod povrchem, a TIN byl tak vyinterpolován přesně k hranicím cesty. Tento TIN následně využit jako horní část multipatch objektu, do kterého se posléze vyříznou objemy převisů.

Jak je zmíněno již v kapitole 3. 2. 2, aby mohl být TIN transformován z jednoho souřadnicového systému do druhého, musel být rozložen na jednotlivé body nástrojem *Tin Nodes*. V atributové tabulce bodové vrstvy, vytvořené nástrojem *Tin Nodes*, byl založen nový sloupec „Z“, ve kterém byly pomocí funkce *Calculate Geometry* dopočítány nadmořské výšky. Od vzniklého sloupce výšek byla odečtena pomocí *Field Calculator* hodnota kvazigeoidu 43,39 pro získání nadmořských výšek v souř. systému Bpv.

TIN model terénu, vytvořený z těchto dat, nevypadal příliš vzhledně (obrázek 25). V oblasti cesty byl kvůli nepřesné interpolaci hrbolatý a nesprávně zobrazoval např. průchod cest pod převisem. Bodová vrstva, vzniklá nástrojem *Tin Nodes*, byla tedy upravena. Aby plocha cest byla rovná a vsazená přesně do modelu terénu, byly odstraněny body, které se nacházely v oblasti cest. Nejprve pomocí nástroje *Intersect* byla vytvořena vrstva bodů nacházejících se v polygonu cest, a poté pomocí funkce *Selection – Select By Location* byly všechny tyto body v prostoru cest vybrány, a z původní vrstvy, obsahující všechny body, vymazány. Ve vrstvě vzniklé nástrojem *Intersect* byly ale odstraněny pouze ty body, které se nenacházely v místech, kdy cesta procházela pod převisem. Po tomto zásahu byly tyto body z *Intersect* vrstvy nástrojem *Append* nakopírovány zpět do původní vrstvy všech bodů terénu.

Obr. 25: Původní TIN model terénu se samostatnou vrstvou cest

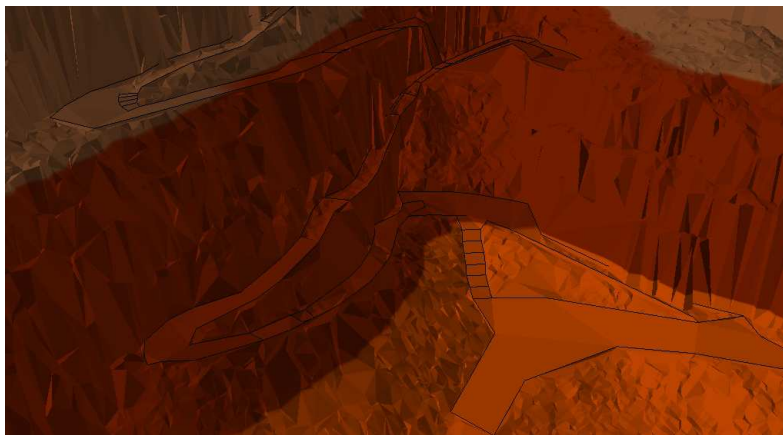


Zdroj: vlastní tvorba

Dalším krokem bylo vytvoření TINu funkcí *Create Tin* z námi vytvořené vrstvy upravených přetransformovaných bodů. Zároveň se shapefilem bodů byla do nástroje vložena

ještě vrstva 3D linií reprezentující cesty, aby bylo docíleno požadovaného efektu rovné plochy cest. V nastavení nástroje u shapefilu bodů bylo nezbytné zaměnit výškový atribut, se kterým nástroj při tvorbě terénu počítal, ze *Shape.Z* na námi spočítaný *Z*. U shapefilu cest zůstalo defaultní nastavení *Shape Z* zachováno. Správný výsledek lze vidět na obrázku 26.

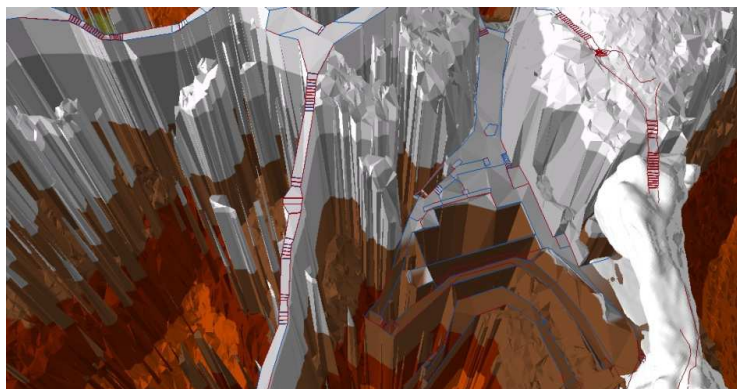
Obr. 26: Ukázka modelu terénu se správně integrovanou boční linií cest



Zdroj: vlastní tvorba

Zde se objevil problém, že TIN byl pravděpodobně kvůli křížení cest správně vykreslen pouze v malé části území na začátku přístupové cesty v nejnižším bodě areálu, a ve zbývajících částech docházelo k chybné interpolaci (viz obrázek 27), kdy se střídaly hodnoty ve výšce nula s hodnotami vysoko nad skutečným povrchem. Řešením se zdálo být rozdělení polylinií cest na menší úseky, které se navzájem nijak nekřížily, ovšem ani tato možnost nevedla k úspěchu. Byla vyzkoušena ve spodní, jednodušší části areálu, kde se nachází pouze jeden most a jinak se cesta nekříží, avšak výsledek byl stále stejný. Zajímavé také bylo, že cesta nacházející se na vyhlídce, jdoucí po masivu severně od Pravčické brány, byla zakreslena chybně i přes absenci křížení či mostu v daném úseku. Naproti tomu cesta jdoucí od základů můstku směrem na horní část Pravčické brány, byla „zahlobena“ a vykreslena správně.

Obr. 27: Nesprávně vykreslený TIN s integrovanou cestou



Zdroj: vlastní tvorba

Následně měl být vytvořen multipatch objekt podobným způsobem, jako byl použit při tvorbě tunelu, tj. ze dvou výškových ohraničujících vrstev a objemu mezi nimi. Z takto vytvořeného terénu ovšem nemohl být jako horní část multipatche použit, proto bylo využito modelu *TIN Brýdl 2* (v souř. systému S-JTSK a výškami v Bpv).

Jako první byl vytvořen rovný TIN pravidelného tvaru, reprezentující základnu, s výškou nižší než nejnižší bod v areálu (byla zvolena výška 260 m. n. m.), poté byl vytvořen o něco menší polygon vymežující zájmové území. Následně byl do nástroje *Extrude between* byl vložen jako spodní okraj TIN, nacházející se ve výšce 260 m. n. m., polygon ohraničující zájmovou lokalitu a *TIN Brýdl 2* jako horní ohraničení. Zde se ukázala slabá stránka nástroje, který nebyl schopen vytvořit uzavřený (tzn. takový, který by se dal po vytvoření upravovat) multipatch terénu při velikosti čtverce, ohraničující zájmové území, s hranou větší než 400 metrů.

Bylo proto nezbytné polygon, původně ohraničující zájmové území, radikálně zmenšit. Zkoušeny byly rozměry hrany 30 m, poté 15 m a 10 m. Aby vznikl výsledný multipatch o velikosti alespoň areálu Pravčické brány s vyhlídkami, byl použit nástroj *Create Fishnet* k vytvoření čtverečkové sítě, dále *Buffer*, aby se vytvořené čtverečky částečně překrývaly, poté nástroj *Split* pro přesné rozdělení a následně opět *Extrude Between*.

Zde se ukázalo, že v zájmovém území vzniklo při použití rozměru čtverečku 30 m až 300 multipatch objektů, z nichž 10 zůstalo neuzavřených. Při použití hrany 15 m vzniklo 600 multipatch objektů, z nichž 25 zůstalo neuzavřených a konečně při použití hrany 10 m vzniklo 800 objektů, kdy 15 z nich zůstalo neuzavřených. Na základě analýzy, že se tato problémová místa většinou v různých rozměrech čtverečků překrývala, bylo usouzeno, že *TIN Brýdl 2* obsahuje pravděpodobně určitá „hluchá“ místa se špatnou interpolací dat, která zapříčinila neuzavření objemu (ostré zlomy, náhlé hluboké propady apod.)

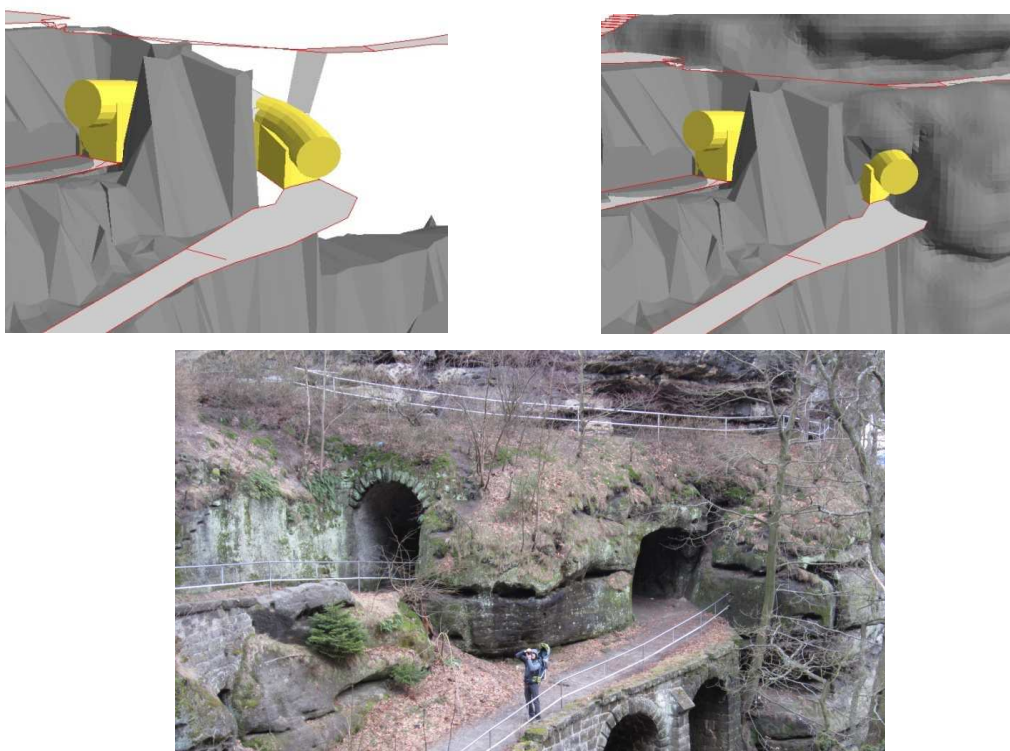
Následně byl proto vyzkoušen alternativní postup k získání výsledného multipatche lokality, a to použití všech uzavřených objektů z čtverečků o straně 15 m, a „dolepení“

neuzavřených míst z čtverečků různých rozměrů, které byly uzavřené a v inkriminovaném místě se překrývaly. Byly tedy vybrány použitelné objemy a výsledný multipatch zájmového území byl sloučen dohromady nástrojem *Merge*.

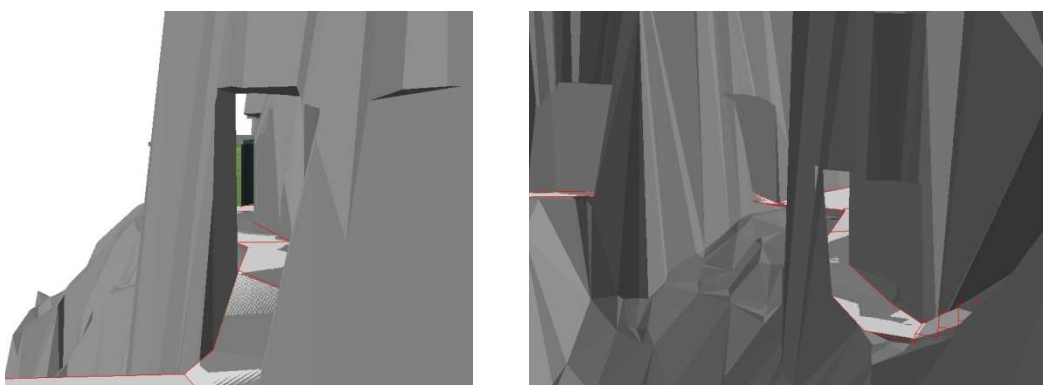
Posledním krokem bylo „vysekání“ objemů tunelů a převisů z objektu výsledného multipatche. Protože se nezdařil způsob vytvoření TINu s integrovanými hranami cest, byly vytvořeny objekty kopírující celou trasu cesty ve snaze nahradit tím neúspěšné vyhlazení cest z nástroje *Create TIN* a nikoli, jak bylo původně zamýšleno, pouze v oblastech převisů. Nástrojem *Extrude Between* byly tedy vytvořeny objekty podobně jako objekt tunelu, ovšem bez horního *3D Bufferu*. Nejdříve byly z vrstvy cest vytvořeny polygony tak, aby se nikde neprotínaly. Následně z bodové vrstvy, vzniklé nástrojem *Feature Vertices to Points*, byly vybrány body nacházející se ve vytvořeném polygonu. Tyto body, obsahující atribut nadmořské výšky, se vyexportovaly do dvou vrstev, kdy z jedné poté vznikl TIN ve výšce terénu a z druhé „strop“ ve výšce o čtyři metry vyšší než terén. Takto bylo postupováno pro každý polygon.

Po vytvoření multipatchů měl být použit nástroj *Difference 3D*, v kterém by se postupně od multipatch objektu zájmového území odečítaly multipatch objemy, nacházející se na přístupové cestě. V rámci prvního použití nástroje se tak skutečně stalo, ovšem již při druhém odstraňování objemu nástroj ohlásil chybu. Ukázalo se, že velmi záleží na způsobu, kterým je multipatch na přístupové cestě vytvořen. Polygony byly vytvořeny z původní liniové vrstvy cest, které obsahovaly ohraničení různých útvarů, nacházejících se v prostoru cesty. Na polygon, ohraničující objekt, musel být tedy použit nástroj z Editoru *Merge*, kterým se všechny útvary, nacházejícím se uvnitř, sloučily do jednoho obvodového polygonu.

Ani toto opatření nezaručilo stoprocentní výsledek, kdy jednoduchý polygon v kombinaci s „hluchým“ místem, přeneseného z TINu do multipatche území, často znamenalo neuzavřený výsledný multipatch. Po dlouhém procesu zkoušení různých způsobů, použitelných k vytváření multipatch objektů, stále vznikaly neuzavřené objekty z neobjasněných příčin. Byly tedy vytvořeny exemplární převisy na několika místech (obrázek 29). Bohužel, objekt tunelu se odstranit z objemu multipatch nepodařilo, nejspíše díky tomu, že do jeho míst zasahovala díra, způsobená odstraněním dat pro integraci modelu Pravčické brány I. Brýdlem (obrázek 28).

Obr. 28 : Porovnání modelu tunelu se skutečností

Zdroj: vlastní tvorba

Obr. 29: Detail vyříznutých převisů

Zdroj: vlastní tvorba

3.7 Modelování a export budov

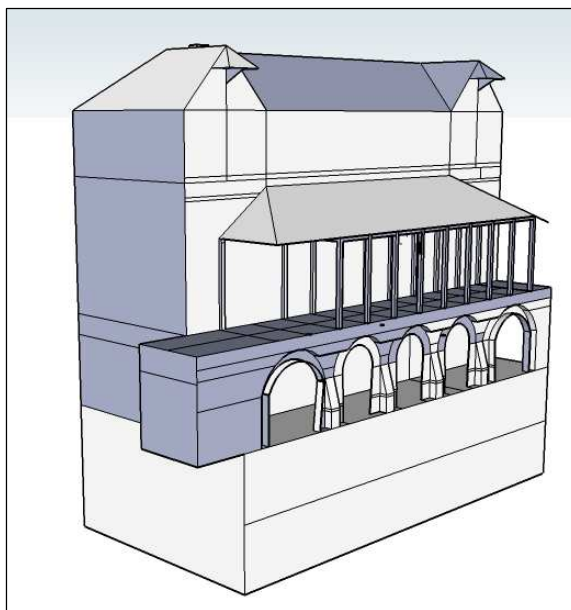
Pro vytváření budov byl použit software Google SketchUp 8 Pro. Existuje již novější verze tohoto programu, nově vydávaného společností Trimble. Ta nepřináší však kromě vylepšeného uživatelského rozhraní žádné zásadní změny. Tento software byl vybrán pro svou vstřícnost a uživatelskou jednoduchost ovládání. Jedná se o základní CAD program, s čímž

souvisí, možná na první pohled zarážející, malé množství nabízených nástrojů viditelných po prvním spuštění programu. Nutné je zobrazit panely nástrojů týkající se modelování (*Large Tool Set*). Dále byly nastaveny jednotky (*Window – Model Info – Units*), se kterými bylo posléze v modelovacím procesu pracováno, na metry.

Základním nepostradatelným pomocníkem v pracovním prostředí jsou na sebe navzájem kolmé osy (*Axes*), navíc odlišené barvami (*Red, Green, Blue*). Program je vybaven vlastní „inteligencí“, kdy se snaží odhadnout, ve kterém směru má uživatel v plánu kreslit, což tvorbu ve 3D prostoru díky barevným změnám tvořené čáry výrazně zpřehledňuje a tvůrce se snáze orientuje. Samozřejmě se nejedná o bezchybně pracující řešení, a proto je možnost se pomocí klávesy *Shift* přichytit buď k určitému bodu, a nakreslit např. rovnoběžku či jedním krátkým stiskem si zafixovat kreslení na vybrané ose. Dále program při najetí myši na pomyslný střed každé čáry zobrazuje *Midpoint*, což uživatel taktéž často (např. při tvorbě střech), ocení.

Software pracuje na vytváření objektů principem *Boundary representation*, tedy definování 3D modelů pomocí povrchu (Koucká 2011, Kryshenik 2013). Rozměry jednotlivých budov byly naměřeny přímo v terénu laserovým dálkoměrem, avšak proběhla také kontrola půdorysných rozměrů z geodetického zaměření nástrojem *Measure* v programu ArcMap. Kontrola ukázala rozdíly u jednotlivých budov v odchylce do 20 cm, což bylo považováno za akceptovatelné.

Tvorba samotných obrazců reprezentujících jednotlivé části povrchu byla realizována nástrojem *Rectangle*, který tvoří čtverce a obdélníky. Jako další krok byl použit nástroj *Push/Pull*, který z původně rovinného půdorysu budovy vyzdvihne objekt do správné výšky (patrné na obrázku 30). Tento nástroj funguje také obráceně, kdy místo vytažení daný objekt zatlačí do požadované hloubky. Zadáání přesných rozměrů probíhalo dvěma způsoby, kdy buď přímo při započatém kreslení v požadovaném směru byly zadány rozměry a stisknuta klávesa *Enter*, či po dokončení kresby dotyčný útvar označen nástrojem *Select* a rozměry zadány dodatečně. Zadávání bylo realizováno většinou pomocí prvního způsobu, jelikož při pokročilejším stádiu tvorby dodatečná změna rozměrů negativně ovlivnila zbytek modelu. Druhým nejpoužívanějším byl nástroj *Line*, sloužící k vytvoření pomocných čar či konkrétních tvarů.

Obr. 30: Hrubá stavba v prostředí SketchUp na příkladu Sokolího hnízda

Zdroj: vlastní tvorba

Jako další možnost tvorby tvarů program nabízí nástroj *Arc* pro tvorbu oblouků a *Circle* pro tvorbu kruhů. Těchto nástrojů bylo využito již pouze zřídka a to při tvorbě komponent. Zajímavý je postup tvorby koule, kdy se vytvoří pomocí *Circle* dva kruhy na sebe kolmé a pomocí nástroje *Follow me*, který pracuje principem táhnutí plošky po zvolené cestě (páteři), se jeden z kruhů „obtočí“. Užitečným pomocníkem byl také nástroj *Tape Measure Tool*, neboli metr, sloužící při následné kontrole k přesnému měření.

Základní hrubá stavba tedy vznikla vyzdvížením půdorysu a pomocí nástroje *Move* vyzdvihnutím linie, rozdělující vrchní stranu vytvořeného kvádrů, vznikla střecha. Následně byly provedeny úpravy fasády. Jednotlivé zdi byly tvořeny texturami z aktuálních fotografií, a pokud obsahovaly markantní tvary či útvary (hrany, okna), byly ještě před aplikací textur zvýrazněné vytažením do prostoru/do modelu pomocí kombinace nástrojů popsaných výše. Problém s kopírováním přetrval bohužel i v novější verzi programu, který zmiňuje ve své práci Peterková (2012), a proto například okna byla tvořena často zdlouhavě jednotlivě. Částečně se tyto komplikace podařilo eliminovat tvorbou tzv. komponent. Takto se vytvořil jeden exemplář požadovaného objektu a následně byl uložen, což umožnilo jejich opakované použití na dalších místech načtením z adresáře (*Window – Components*). Na exemplárním příkladu oken můžeme uvést, že změna jednoho exempláře znamenala automatické upravení i zbývajících, což se ukázalo někdy mírně kontraproduktivní, jelikož u budov v okolí Pravčické brány často ani na jedné budově nebyla dvě stejná okna.

Umístění textur na stěny umožnil nástroj *Paint Bucket*, sloužící k obarvení defaultně šedých objektů, který sám o sobě nabízel mnoho vzorů různých vzorů, avšak díky snaze co

nejvíce ztotožnit výsledný model s reálným vzhledem budov těchto nabízených vzorů využito nebylo. V software Zoner Photo Studio 13 byly vhodné fotografie nejdříve případně upraveny, pokud obsahovaly některou z opravitelných optických vad a následně byly „rozřezané“ na jednotlivé segmenty, které se pak odděleně vkládaly na různá místa stěn modelu, aby se předešlo rostoucímu zkreslení. Jednalo se například o sokl z kamenů, palubkové obložení štítu či pro každou budovu unikátní štuk. Podle velikosti se textura nejdříve zobrazila buď jako systém dlaždic, pokud byla menší, či se zobrazila pouze zčásti při velikosti větší než sílový prostor. Úprava probíhala pomocí volby menu *Texture – Position* zobrazující se při kliknutí pravého tlačítka myši do oblasti textury, kdy se objevily v rozích textury jakési „špendlíky“, jejichž přemístěním do rohů objektu proběhlo přesné transformování. Pro větší přehlednost byla založena nová složka, kam byly postupně ukládány jednotlivé nově vytvořené materiály už upravené do rozměrů modelu., umožňující případně jejich opětovné rychlé použití (*Window – Materials (Create Material...)*). Výsledek na příkladu Sokolího hnízda je zobrazen na obrázku 31.

Obr. 31: Finální model v prostředí SketchUp na příkladu Sokolího hnízda



Zdroj: vlastní tvorba

Po kompletním vytvarování a otexturování modelu zbývalo jeho vyexportování (*File – Export*). V rámci podmínky kompatibility byl zvolen formát COLLADA file (.dae). Na výběr ovšem v naší konkrétní placené verzi SketchUp-u máme na výběr také formáty 3ds, .dwg, .fbx, .obj, .xsi, .wrl či Auto CAD *.dxf (Popelka, 2008). Objekt se uloží jako obrys v .dae formátu a textury se uloží do samostatné složky.

3.8 Závěrečná vizualizace v ArcScene

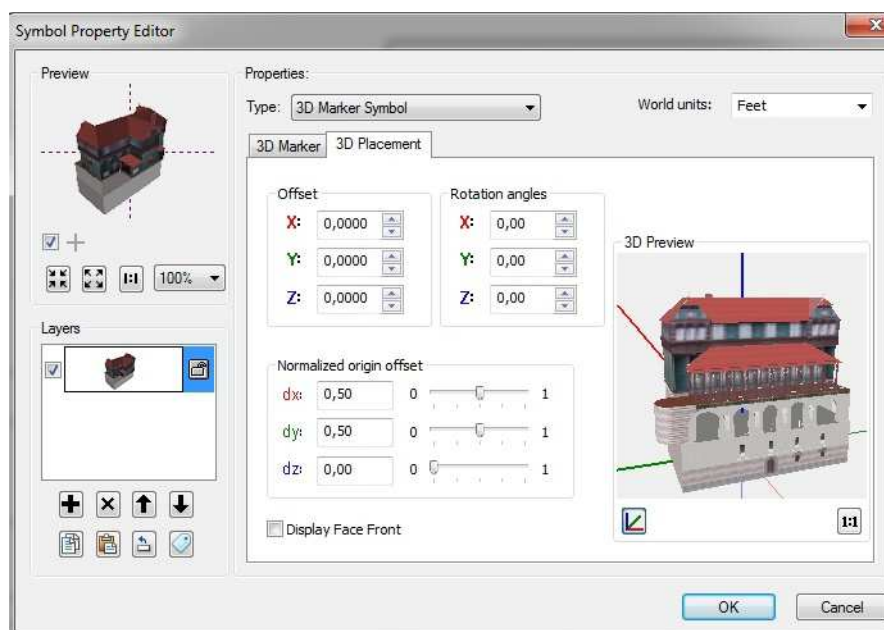
Výsledné modely byly importovány a vizualizovány v SW ESRI ArcScene, který umožňuje zobrazovat objekty v prostorové perspektivě.

Pro vytvoření výstupu bylo nezbytné zkombinovat všechny vytvořené části reprezentující reálnou scénu.

Nejprve byl zobrazen finální model terénu (*Add data*) ve formátu multipatch, ve kterém byly vyřiznuty ty části cesty, kdy cesta procházela pod převisem. Jak je zmíněno v kapitole 3. 6. 2, nemohl být použitý TIN s integrovanými cestami, a proto byla vrstva cest vizualizovaná samostatně.

Modely budov byly vkládány jednotlivě, proto bylo nutné si pro každý model vytvořit nový bodový shapefile. Objekty byly vždy definovány jako 3D Marker Symbol (*Edit Symbol – 3D Marked Symbol – Import*). Výhodou tohoto řešení byla možnost s objekty individuálně manipulovat a tak nebyl problém upravit jednotlivě rozdílnou výšku ani natočení, protože po prvotním nahrání byly budovy umístěné nepřesně. Úpravy se týkaly nejdříve správného natočení budovy (*Angle*) tak, aby odpovídalo skutečnosti. Poté se modifikovala velikost objektu (*Size*), a to podle okolních dat, ve kterých byl znázorněn půdorys objektů. Finální přesné umístění v osách X, Y a Z bylo realizováno pomocí „táhel“ nástroje *Normalized origin offset* v záložce *Edit Symbol – 3D Placement*. Tento způsob se ukázal jako efektivnější než zadávání offsetových hodnot manuálně v horní části záložky, protože požadovaný směr posunu budovy se často nacházel ve směru mezi dvěma osami. Posunutím táhel tedy omezilo zkoušení hodnot naslepo a byl hned zřejmý výsledek podle náhledu (uživatelské rozhraní je viditelné na obrázku 32).

Zde se negativně projevila nevýhoda COLLADA formátu (.dae), kdy takto vytvořený model byl až 5x větší, než například v interním formátu SketchUp-u (.skp). Textury modelu vytvořené z fotografií, místo jednoduchých vzorů nabízených programem, ukázaly další problém, kdy ArcScene po překročení určité velikosti importovaného objektu nezobrazí textury, ale pouze šedý obrys modelu. V programu Zoner Photo Studio 13 bylo tedy obrázkům textur větších než 500 Kb ze složky objektu, zmenšeno rozlišení na polovinu. Po tomto zásahu už nebyl problém objekty nahrát.

Obr. 32: Import objektů a do software ArcScene a úprava jejich pozice

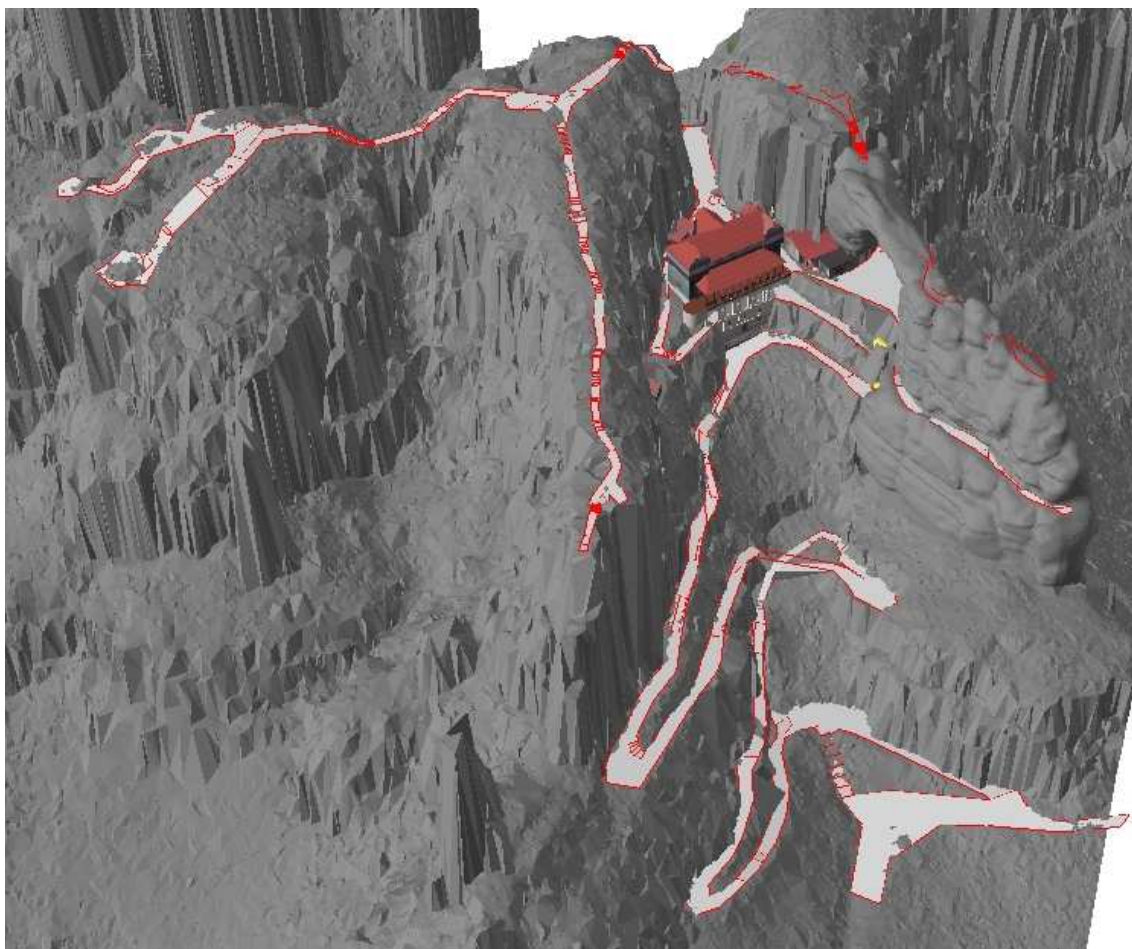
Zdroj: vlastní tvorba

Do závěrečné vizualizace byl taktéž přidán přetransformovaný 3D objekt brány, vytvořený Ivo Brýdlem (2012). Závěrečná vizualizace scény byla prezentována pomocí 2D náhledů (viz. obrázky 33, 34 a kapitola příloh k práci).

Obr. 33 : Závěrečná vizualizace scény

Zdroj: vlastní tvorba

Obr. 34: Pohled na celou oblast finální vizualizace



Zdroj: vlastní tvorba

4 Použitý software

4.1 MS Excel

Software pracující na bázi tabulkového procesoru (spreadsheet) a součást rozsáhlého programového balíku Office od společnosti Microsoft.

Prvním tabulkovým kalkulátorem z dílny Microsoftu byl program Multiplan, se kterým přišel na světový trh v roce 1982, tehdy pro počítače pracujícím na operačním systému CP/M. Na modernějších počítačích využívajících platformu MS-DOS ze začátku byl však úspěšnější jeho konkurent Lotus 1-2-3 od společnosti Lotus Software, což mělo za následek vývoj nového programu, nazvaného Excel. Microsoft Excel následně opanoval i platformu Macintosh a od roku 1988 měl vyšší prodeje než konkurence od Lotusu, a byl pro uživatele jedním z hlavních důvodů pro přechod z Mac platformy k OS Windows .

V MS Excel se nachází více jak 300 funkcí, rozdělených do několika kategorií (např. vyhledávací, logické či matematické), kterými se dá dotazovat na obsah buněk a různě ho zpracovávat. S použitou verzí 2007 odpadl pro některé uživatele limitující faktor velikosti jednoho listu – předchozí verze uměly pracovat pouze s 65 536 řádky a 256 sloupci, u tohoto se velikost zvětšila na více než jeden milión řádků a 16 384 sloupců (Microsoft, 2014).

4.2 Google SketchUp

První verze softwaru SketchUp vznikla pod taktovkou firmy @Last Software už v srpnu roku 2000 s ideou napodobit co nejvěrněji pocit kreslení tužkou na papír a umožnit tak nejen profesionálním designérům svobodu tvorby v jednoduchém, elegantním a efektivním rozhraní snadném na pochopení, naučení a používání. Program byl velmi úspěšný a získal několik ocenění za své jednoduché a intuitivní ovládání, včetně patentu na technologii Push/Pull v roce 2003, která přinesla výrazné zjednodušení digitální tvorby 3D modelů umožňující prosté „vytahování“ plošných útvarů do prostoru. V roce 2005 implementovala společnost @Last Software do svého softwaru plugin umožňující export a následné zobrazení

vytvořených 3D modelů v softwaru Google Earth. Vedení mezinárodního korporace Google se následně roku 2006 rozhodlo software odkoupit pod svou správu a dále vylepšit zejména vytváření 3D modelů a jejich následnou integraci do svého software Google Earth (Sketchup School, 2014). Google SketchUp byl nabízen ve dvou verzích, volně stažitelné FREE verzi, a placené plnohodnotné verzi PRO, která nabízí mimo jiné možnost uložit 3D model ve více formátech (Popelka 2008). Toto rozdělení vydrželo až do současnosti, i když od roku 2013 již SketchUp s milióny uživatelů po celém světě není majetkem společnosti Google, ale společností Trimble Navigation, která již vydala první vlastní verzi programu nazvanou Trimble SketchUp 2013 (Trimble, 2014). Trimble se podle oficiálního prohlášení zaměřil zejména na zdokonalení technologie Trimble (dříve Google) 3D Warehouse, umožňující vytvoření 3D modelu pomocí sady nástrojů, který je následně uložen do veřejně přístupné databáze pro ostatní uživatele umístěné na webu, kteří si následně mohou daný model stáhnout a použít pro své potřeby (Graphisoft, 2014). Pro účely práce však byla využívána starší verze Google SketchUp 8 Pro.

4.3 ArcGIS

ArcGIS se nazývá soubor několika samostatných softwarových programů společně vytvořených společností ESRI. Tato organizace byla založená už roku 1969 ve Spojených státech amerických Jackem a Laurou Dangermond, za účelem poskytování kvalitních konzultací ohledně zemského povrchu, a zvýšit informovanost zeměměřičů a vysokých manažerů zodpovědných za nakládání s přírodními zdroji. Již od počátku firma sídlí ve městě Redlands, a postupně s technologickým rozvojem, a to zejména informačních technologií, se začala více zabývat sběrem, analýzou a uložením geografických informací (Arcdata, 2014a).

Původní komerční produkt, vydaný v roce 1982, se nazýval ArcView, první verze rozšířeného softwarového balíku ArcGIS byla vydána v roce 1994 (Esri, 2014b).

Základem souboru ArcGIS jsou aplikace ArcToolbox, ArcGlobe, ArcMap a ArcCatalog dohromady tvořící produkt ArcGIS Desktop. Důležité je, že se tyto jednotlivé programy dají rozšířit velkým množstvím extensions neboli nadstaveb. Z těchto rozšíření je pro naše účely nejdůležitější 3D Analyst, které obsahuje nástroje pro tvorbu a analýzu 3D dat, a Spatial Analyst, umožňující kombinovanou analýzu terénu z vektorových a rastrových dat (Arcdata, 2014b).

Pro prostorovou vizualizaci dat a samotnou práci s nimi ve 3D byl využit specializovaný software z kompletu ArcGIS, a to ArcScene, ve kterém proběhla i vizualizace výsledné scény. Z dřívějších zkušeností bylo známo, že nadstavba 3D Analyst není vhodná pro tvorbu budov. Jak píše Appleton (2002), nástroj vytváří budovy jednoduchým

„vytažením“ polygonů, jež ve finále vypadají nevzhledně jako kvádry. Proto byla extenze nahrazena zjednodušeným CAD softwarem Google SketchUp 8 Pro.

V současné době se stále zdokonaluje webová aplikace ArcGIS online, která je založena na technologii cloud, a umožňuje vytvoření kartografických produktů přímo v prostředí internetového prohlížeče (Esri, 2014a).

5 Použité vybavení

5.1 GPS přístroj

Tento přístroj představuje špičkový nástroj pro sběr dat v terénu. K tomu je uzpůsobená i konstrukce, kdy na jedné straně je přístroj na dnešní poměry větší, avšak na druhé straně disponuje poměrně odolnou konstrukcí proti nárazům s množstvím gumových součástí. Výrobce udává stupeň krytí IP65, kdy je přístroj odolný vůči prachu, měl by bez funkčního poškození vydržet pád z výšky až 1,2 metru a odolat menšímu množství vody stříknuté z libovolného směru (robustnost patrná na obrázku 35).

V přístroji je zabudován jednofrekvenční Trimble Maxwell 6 GNSS chipset umožňující přijímat 220 signálů, jak ze systému GPS, tak i z GLONASS, a použití diferenčních korekcí v reálném čase, kdy výrobcem uváděná přesnost činí 75 cm + 1 ppm při použití kódových korekcí VRS. S integrovaným SBAS je udávána přesnost menší než 1 metr. Při použití kódového postprocessingu na již naměřená data by měla být výsledná přesnost do 50 cm + 1 ppm. Při klidovém měření trvajícím 45 minut a aplikaci obou postprocessingových metod by dle výrobce měla být výsledná přesnost za ideálních podmínek (kdy měření probíhá ve vzdálenosti do 10 km od referenční stanice a přijímaný signál není ovlivněn průchodem vegetací) 1 cm + 2 ppm.

Přístroj je vybaven technologií Floodlight, jež pomáhá při měření v obtížných podmínkách, kdy dochází k velkému stínění přijímaného satelitního signálu. Principem je kombinace systémů GPS a GLONASS, stabilním měření ze satelitů s nízkým signálem a tvorbou 3D polohy s fixovanou výškou. Kombinací těchto pokročilých algoritmů by dle výrobce mělo znamenat měření nepřesahující výše zmíněné odchylky i v nepříznivých podmínkách.

;

Obr. 35: Přístroj Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH*Zdroj: Geotronics Praha, 2008*

K zobrazování informací a ovládání slouží dotykový 10,7 cm velký LCD displej, který je pro práci v terénu na přímém slunečním světle vybaven polarizačním sklem, díky němuž je za všech světelných podmínek čitelný. Ovládání je realizováno přes software TerraSync, zde ve verzi 5.20, s širokými možnostmi nastavení pro příjem signálu. Samotné ovládání je možné realizovat pouhým prstem, avšak pro přesnější „trefování“ je vhodnější využití dotykového pera, které je účelně schované v zadní části přístroje.

Pro úplnost uvádím doplnění dalších technologií - GeoExplorer 6000 GeoXH disponuje 3,5g zabudovaným modemem umožňujícím přístup k online službám, nechybí Wi-Fi, Bluetooth a zabudovaný fotoaparát s rozlišením 5 megapixelů a autofokusem (Geotronics Praha, 2008).

Jediným mírně limitujícím faktorem byla výdrž baterie, kdy sice výrobce udává 10 hodin, v praxi, kdy baterie již není ve zcela zánovní kondici, byla maximální doba měření zhruba poloviční.

rozměry [mm]	234 x 99 x 56
váha	925 g
operační systém	Windows Mobile 6.5 Professional Edition
procesor	TI OMAP 3503
RAM	256 MB
paměť integrovaná/rozšiřitelná	vnitřní 2 GB/možno až 32 GB při použití SDHC karet
displej	úhlopříčka 10,7 cm (640x480 pixelů)

5.2 Dálkoměr

Jako další byl využit přístroj LaserAce 1000 Rangefinder (obrázek 36) zejména k měření rozměrů budov, vzdáleností mezi nimi a také okrajově pro získávání vzdáleností nutných k rekonstrukci okrajů cest, které již na výkresech nebyly zakresleny.

Obr. 36: Přístroj LaserAce 1000 Rangefinder



Zdroj: Trimble, 2014b

Tento model je kombinací laserového dálkoměru, digitálního sklonoměru a částečně dalekohledu s pětinasobným přiblížením. Vzhledem ke zhoršenému počasí, které panovalo v době měření, bylo pohodlné využít „bezdotykového“ měření místo klasického měření pásmem, kdy jeden výpočet vzdálenosti trvá tomuto zařízení 0,3 vteřiny, a výsledek je následně zobrazen na dobře čitelném LCD displeji. Zároveň díky garantované odolnosti IP63 je přístroj odolný vůči prachu a vodě stříkající pod úhlem menším než 60° od vertikály.

Aparát je vybaven pro oči bezpečným laserem schopným měřit do vzdálenosti 150 metrů bez použití odrazového hranolu a až 600 metrů s hranolem. Pro mé měření byla akční

vzdálenost bez odrazivého skla zcela dostatečná. Přesnost měření je dle výrobce garantovaných 10 cm (Trimble, 2014b).

rozměry [mm]	110 x 100 x 50
váha	464 g

6 Výsledky a diskuze

Hlavním tématem a cílem této bakalářské práce byla tvorba hybridního 2,5D/3D modelu terénu zájmového území, zobrazující okolí Pravčické brány v NP České Švýcarsko. Byla vytvořena 3D vrstva reprezentující plochu cest, dále bylo v detailu vymodelováno 15 budov, nacházejících se v zájmovém území a 2,5D model terénu upraven tak, aby věrně zobrazoval i takové útvary reliéfu, které kvůli omezení své architektury není při tvorbě schopen vykreslit.

Model terénu měl být vytvořen v aplikaci ArcMap jako TIN (nikoli jako rastrový model), který lépe aproximuje složitý terén v zájmovém území, jak bylo mimo jiné vysvětleno v úvodu práce v rešerši literatury.

Prvním krokem k dosažení cíle bylo zdokonalit geodetické zaměření cest v areálu tak, aby z něj následně bylo možné udělat 3D polygony a integrovat je do modelu terénu. Geodetický výkres se skládal z polylinií vymezujeících cesty, dále linií osy procházející prostředkem těchto cest, bodové vrstvy a vrstvy anotací, které celý výkres popisovaly. Zde se objevil první problém, když jednotlivé prvky neobsahovaly v atributu žádné údaje kromě geodetických charakteristik. Nejprve byla proto bodům dopsána relativní výška podle anotační vrstvy, což bylo prováděno manuálně a byl to časově zdoluhavý proces, jelikož se jednalo o bezmála 1000 bodů. Při manuálním procesu navíc vznikaly chyby plynoucí z nepřehlednosti určitých oblastí s velkým počtem bodů. Tyto nepřesnosti se poté projevovaly v průběhu práce a byly odstraněny.

Dalším dílčím cílem byla potřeba přiřadit k těmto bodům, které již obsahovaly atribut relativní výšky, hodnotu skutečné nadmořské výšky. Pomocí nástrojů *Add surface information* a *Raster value to points* byly ze dvou digitálních modelů terénu získány hodnoty nadmořských výšek, s čímž souvisel problém nesourodsti souřadnicových systémů jak polohových, tak výškových.

Následujícím krokem bylo objasnit, kolik metrů nad mořem je 0 relativního výškového systému z geodetického výkresu, aby se podle této hodnoty daly dopočítat zbylé výšky. Získané výšky z digitálních modelů byly odečteny od relativních výšek, čímž byla zjištěna nepřesná hodnota 0, protože díky chybám modelů terénu se hodnota u jednotlivých bodů lišila a kolísala okolo určité střední hodnoty. Ke zjištění této hodnoty bylo tedy nejprve nutné se statisticky zbavit odlehlých nepřesných pozorování a následně zjistit hodnotu průměru z těchto rozdílů (viz kapitola o souř. systémech). Po získání střední hodnoty byly dopočítány hodnoty nadmořských výšek v souř. systému Bpv pro všechny body.

Dalším krokem bylo převést tyto výšky od bodů k liniím tak, aby bylo možné z nich udělat 3D polylinie, což obnášelo dva atributy u každé jednotlivé linie určující výšku jejího začátku a jejího konce, čehož bylo docíleno kombinací nástrojů *Feature Vertices to Points*, *Join field*, *Spatial join* a *Feature to 3D by Attribute*.

Dalším cílem bylo vytvoření objektu tunelu typu multipatch. Smyslem bylo vytvořit si objekt tunelu jako objem, který se následně z digitálního modelu vyřízl. Stejným způsobem vznikly i převisy nacházející se nad některými úseky cest v areálu (viz kapitola 3. 6. 1).

Aby bylo možné modifikovat TIN DMT tak, aby se z něj mohl odstranit objem tunelu či převisů, bylo nutné si z něj udělat multipatch, ze kterého by bylo možné pomocí funkce *Difference 3D* inkriminované části povrchu odstranit. Jak je popsáno v metodické části 3. 6. 2, výsledek byl závislý na kvalitě povrchu TINu a z něj vzniklého multipatche, ze kterého bylo vyřezáváno, a také v jednoduchosti multipatch objektů, které se z multipatche reprezentující objem území, odstraňovaly. Byla zjištěna větší šance na vytvoření uzavřeného multipatch objektu z jednolitého polygonu nástrojem *Extrude Between*. I tak byl proces vyřezávání objektů spíše neúspěšným zápasem o vytvoření uzavřených multipatchů, podmíněného neustálým spouštěním nástroje *Is Closed 3D* a *Extrude Between*. Vzhledem k těmto vleklým problémům lze považovat za úspěch vytvoření multipatch těleso zájmové oblasti, ve kterém se podařilo vymodelovat převisy na většině míst, kde se v areálu nacházely, a zároveň jako bonus vyhladit na přilehlých místech plochu cest. Možnou prevencí těchto problémů by zřejmě byla výroba, a následné odstraňování multipatchů menších částí. Časová náročnost by ovšem vzrostla několikanásobně.

Modelace budov probíhala v softwaru SketchUp, kde byla každá budova detailně nakreslena podle reálných rozměrů získaných na místě měřením laserovým dálkoměrem. Tento software se osvědčil jako intuitivní, kdy po krátkém seznámení bylo možné s programem efektivně pracovat a hrubé stavby v poměrně krátkém čase vytvořit. Na rozdíl od jiných prací zabývajících se podobnou tematikou (Andrštová 2011, Peterková 2011 a další), byly textury budov vytvořeny z fotografií v pořízených při terénním průzkumu oblasti. Jak se ukázalo, takové řešení neznamená vždy ideální výsledek.

Použití fotografií značně omezuje vytvoření plastičnosti modelu, například „vytažením“ rámu oken z fasády budov do popředí, protože pak dochází k deformaci fotografií. Proto z dálky a pod velkým úhlem nevypadají pouze otexturované budovy příliš atraktivně. Navíc v takto špatně přístupném areálu s omezenými možnostmi pohybu není vždy možné pořídit kvalitní fotografii věrně zobrazující reálnou podobu objektů, proto se na některých fotografiích projevují optické vady a zkreslená perspektiva. Výsledné fotografie byly také negativně ovlivněny nepříznivými klimatickými podmínkami panující v době terénního šetření.

Vytvořené modely byly exportovány ve formátu COLLADA a následně importovány do prostředí softwaru ArcScene, kde byly vytvořeny závěrečné vizualizace a náhledy na výslednou scénu. Proces importu a integrace budov do terénu negativně ovlivnila nadměrná velikost některých modelů, kdy velké objekty s mnoha texturami vzniklých z fotografií měly i více než 20 MB. Navíc se ukázalo, že ArcScene takto velké objekty (odhadem více než 6 MB) zobrazí pouze jako šedé stavby bez textur, proto muselo být sníženo rozlišení některých textur až na čtvrtinu. Pro přesné usazení budov bylo nezbytné vyškrtnout v nastavení *Edit Symbol* možnost *Use material draping*, což znamenalo nenačítání textur a díky tomu manipulace probíhala poměrně svižně. Jinak byla práce v ArcScene po importu všech částí závěrečné vizualizace velmi zdoluhavá, navíc jak se ukázalo, při potřebě vyexportovat pohled na výslednou scénu do 2D obrázku, programu přestal odpovídat a ukončil se. Pro realizaci obrazových výstupů tedy muselo být použito nouzové metody pořízení screenshotů pomocí funkce PrintScreen, nacházející se ve Windows.

Po částečném splnění cílů práce bylo možné porovnat problematiku 3D modelování ve dvou softwarech, a to SketchUpu a ArcGISu. ArcGIS je komplexní, sofistikovaný profesionální nástroj, navíc stojící nemalé finanční prostředky, naproti tomu SketchUp je určen pro laickou veřejnost a ve své základní verzi dokonce freeware. V obou softwarech je možné vytvořit model terénu. V ArcGIS-u to znamená zdoluhavější proces, obnášející shromáždění a přípravu vstupních dat a následné vymodelování v povrchu v různých podobách z různých podkladů. Výsledek je o mnoho propracovanější než model terénu z prostředí SketchUp-u, je možné s ním déle pracovat a sofistikovaně ho upravovat. Ve SketchUp-u jsou vstupní data omezená na podklady získané z aplikace Google Earth, odkud se nahraje požadovaná výseč terénu a dále ji lze pouze omezeně upravit, například dodat vrstevnice, zvýšit převýšení či doplnit povrchovými útvary. Odpadá zde tedy například problém s rozdílnými souřadnicovými systémy. V případě těchto útvarů, ať už se jedná o budovy či vegetaci, se opět nabízí srovnání, kdy v ArcGIS-u lze požadované tvary dodat vytvořené ve formátu multipatch, byť většinou jednodušší a předdefinované, ve SketchUp-u není problém na povrch reliéfu umístit například detailní 3D budovu.

Následné integrace do jednoho celku je určitě obtížnější v ArcGIS-u, výsledek je zato o poznání působivější a detailnější. Google SketchUp nabízí jednodušší alternativu 3D modelování pro neoborníky a pokročilejší uživatel ArcGIS-u v něm vidí užitečné rozšíření, například pro tvorbu detailních 3D budov, jenž ArcGIS zatím přímo nenabízí.

Cíle práce byly tedy splněny pouze částečně. Podařilo se vytvořit výslednou vizualizaci zájmové oblasti, obsahující 3D modely budov, 3D polygon cesty a multipatch, reprezentující objem území, avšak nikoli z nově vytvořeného a upraveného TIN modelu terénu obsahujícího přesně zakomponované hrany cest.

7 Závěr

Tématem a zároveň cílem této bakalářské práce bylo vytvoření 3D topografické databáze okolí Pravčické brány. Postup práce shrnuji na následujících řádcích.

V úvodu práce byla provedena rešerše literatury vedoucí k objasnění problematiky související s tématem práce a seznámení s teoretickými východisky k oblasti, do které tato práce zasahuje. Je věnována vysvětlení rozdílů mezi 2D a 3D, a s ním spojených datových struktur, typy digitálních modelů terénu a zabývá se také problematikou rozdílných polohových a výškových souřadnicových systémů, se kterými je v průběhu praktické části pracováno.

Praktická část byla zaměřena na samotnou tvorbu topografické databáze. Většina práce probíhala v aplikacích ArcMap a ArcScene od společnosti ESRI, dále SketchUp-u od společnosti Google a pro statistické výpočty posloužil Excel 2007 od společnosti Microsoft.

Pomocí výše zmíněných softwarových nástrojů byl splněn hlavní cíl práce, vytvoření hybridního 2,5D/3D modelu terénu části NP České Švýcarsko, konkrétně oblast kolem Pravčické brány. Výsledkem je model území, využitelný pro potřeby správy NP a dalších institucí. Zde v mé práci je prezentován obrazovými náhledy.

V rámci bakalářské práce byla zpracována tvorba 3D cest a jejich zakomponování v areálu, vytvořeny a vizualizovány budovy, které se na daném místě nacházely a došlo také na porovnání 3D modelování terénu a budov a následné integrace do jednoho celku ve dvou softwarech, a to SketchUp-u a ArcGIS-u, jenž je popsána v diskuzi.

Snaha vyříznout z multipatch objemu převislé části povrchu, zasahující do prostoru cest, nebyla vždy úspěšná a považuji za osobní úspěch vyříznutí převisů alespoň na čtyřech místech. Problémy s uzavřeností jednotlivých multipatch objektů práci velmi ztěžovaly a prodlužovaly a nezbyvá než doufat, snad se v novějších verzích softwaru tento problém alespoň částečně eliminuje.

Seznam zdrojů:

ANDRŠTOVÁ, M. 2012: *3D rekonstrukce zaniklých sídel ve středním Povltaví*. Praha, 2012. 63 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.

ANGSUSSE, S., KUMKE, H. 2001: *3D visualization of the Watzmann-Massif in Bavaria of Germany*. Journal of Geographical Sciences, č. 11, s. 63–68.

APPLETON, K. ... [et al.], 2002: *Rural Landscape visualisation from GIS databases: a comparison of approaches, options and problems*. Computers, Environment and Urban Systems, ročník 26, č. 2-3, s. 141-162. ISSN 0198-9715.

ARCDATA 2014a: *ArcGIS for Desktop* [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/>>

ARCDATA 2014b: *Nadstavby pro ArcGIS for Desktop* [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/nadstavby-pro-arcgis-for-desktop/>>.

BAYER, T. 2014: *Digitální modely terénu* [online]. 2014 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://web.natur.cuni.cz/~bayertom/IM/idm5.pdf>>.

BRAVENÝ, L. 2008: *Digitální modely terénu a modelování prostorových dat*. In: ŠTYCH, P. ... [et al.] *Vybrané funkce geoinformačních systémů*. Praha: Česká kosmická kancelář, 2008. Kapitola 6, s. 80-129.

BRYCHTOVÁ, A. 2010: *Automatická interaktivní 3D vizualizace digitálních dat*. Olomouc, 2010. 55 s. Magisterská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky.

BRÝDL, I. 2012: *Tvorba 3D modelu Pravčické brány a jeho integrace do 2.5D TIN modelu terénu*. Praha, 2012. 66 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.

ČADA, V. 2007: Přednáškové texty z Geodézie, Západočeská univerzita v Plzni [online]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>>.

ČESKO 2006: *Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. O stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání*, v platnosti od 1. 9. 2006, Praha, 2006.

ČESKOSASKÉ ŠVÝCARSKO 2014: *Regiony* [online]. 2014 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceskosaske-svycarsko.cz/regiony.html>>.

ČÚŽK 2014: *Nová realizace systému ETRS89 v ČR* [online]. 2014 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.cuzk.cz/Zememericitvi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR.aspx>>.

ČVUT 2014: *Geodetické a kartografické základy* [online]. 2014 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z WWW: <http://transformace.webst.fd.cvut.cz/Iframe/Basics_iframe.htm>.

DUŠEK, R.; MÍŘJOVSKÝ, J. 2009: *Vizualizace prostorových dat: Chaos v dimenzích*. Geografie, Sborník české geografické společnosti, ročník 114, č. 3, s. 169 – 178.

ERVIN, M., S. 2001: *Landscape Visualization: Progress and Prospects* [online]. 2001 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc04/docs/pap1647.pdf>>.

ESRI 2014a: *History* [online]. 2014 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.esri.com/about-esri/history>>.

ESRI 2014b: *The Multipatch Geometry Type* [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://support.esri.com/en/knowledgebase/whitepapers/view/productid/67/metaid/1483>>.

ESRI 2014c: *Warp (Data management)* [online]. 2014 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z WWW: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00170000007v000000>>.

FAGERMAN, D. 2001: *Intelligent Digital Terrain Models: Real-world Applications for a Variety of Disciplines*. In: Bentley Civil Engineering Support & Training Services, 2001, s. 61 – 67.

GEOTRONICS PRAHA 2008: *Technický popis GeoExplorer 6000 GeoXH* [online]. 2008 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.geotronics.cz/pristroje-pro-gis/gpsprijimace-a-terenni-pocitace-s-gps/geoexplorer-6000/geoexplorer-6000-geoxh>>.

GRAPHISOFT 2014: *Google Earth, SketchUp and Google 3D Warehouse Connections* [online]. 2014 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z WWW: <http://www.graphisoft.com/downloads/addons/google_earth/>.

GRÖGER, G.; PLÜMER, L. 2005: *How to Get 3-D for the Price of 2-D – Topology and Consistency of 3-D Urban GIS*. GeoInformatica, ročník 9, č. 2, s. 139-158.

- HAKLAY, M., E. 2002: *Virtual reality and GIS : Applications, trends and directions*. In: *Virtual Reality in Geography*. London: Taylor & Francis, 2002, s. 47-57.
- HOLMAN, L. 2013: *Zpřesnění DMR v pískovcovém skalním terénu s využitím přesné registrace dat leteckého laserového skenování*. Praha, 2013. 83 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
- JEDLIČKA, K. 2011: *3D data v GIS III KMA/AGI* [online]. Plzeň, 2011. Dostupné z WWW: <https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=54973>.
- JELENEK, J. 2010: *3D rekonstrukce krajiny na příkladu zaniklých obcí v českém pohraničí a vojenských újezdech*. Zdiby, Praha, 2010. 80 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
- KADLEC, P. 2007: *Sjednocení kvazigeoidu na různých územích*. Praha, 2007. 85 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra vyšší geodezie.
- KLIMÁNEK, M. 2008: *Digitální modely terénu*. Brno. : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7157-982-3.
- KOLÁŘ, J. 2003: *Geografické informační systémy 10*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta stavební. 161 s. ISBN 80-01-02687-6.
- KOUCKÁ, L. 2011: *3D rekonstrukce zaniklých částí města Dobříš*. Praha, 2011. 77 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
- KŘIKAVOVÁ, L. 2009: *Interpolace bodových dat v GIS*. Praha, 2009. 55 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie.
- KRYSHENYK, P. 2013: *3D vizualizace rekonstruovaných sidel ve webovém prostředí*. Praha, 2013. 58 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
- MAYER, P. 1995: *Počítačové modelování krajiny*. Praha: České vysoké učení technické. 110 s. ISBN 80-01-01389-8.
- MICROSOFT 2014: *Co je nového v aplikaci Microsoft Office Excel 200*. [online]. 2014 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://office.microsoft.com/cs-cz/get-started-with-2007/co-je-noveho-v-aplikaci-microsoft-office-excel-2007-HA010073873.aspx>>.
- ORŠULÁK, T., PACINA, J. 2012: *3D modelování a virtuální realita*. Ústí nad Labem: Centrum digitálních služeb MINO, 2012. 64 s. ISBN 978-80-904927-4-5.
- PAVELKA, K. 2011: *Fotogrammetrie 2*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. 163 s. ISBN 978-80-01-04719-4.
- PETERKOVÁ, T. 2012: *3D Vizualizace budov kampusu Albertov*. Praha, 2012. 55 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.
- POPELKA, S. 2008: *Google a ArcGIS nové možnosti v 3D vizualizaci*. Olomouc, 2008. 60 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého Olomouc, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky.

RAPANT, P. 2006: *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 513 s. ISBN 80-248-1264-9.

SKETCHUP SCHOOL 2014: *Getting started with SketchUp* [online]. 2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.go-2-school.com/sketchup>>.

SPRÁVA NÁRODNÍHO PARKU ČESKÉ ŠVÝCARSKO 2007: *Rozbory* [online]. Správa Národního parku České Švýcarsko, 2007, Krásná Lípa [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.npcs.cz/node/59>>.

SPRÁVA NÁRODNÍHO PARKU ČESKÉ ŠVÝCARSKO 2012: *Geomorfologický vývoj* [online]. Poslední revize 27. 2. 2012 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z WWW: <http://www.npcs.cz/geologie#geomorfologicky_vyvoj>.

TRIMBLE 2014: *Trimble to Enhance its Office-to-Field Platform* [online]. 2014 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://ww2.trimble.com/3d/>>.

TROMMLER, M. 2007: *Geoinformationsnetzwerke für die grenzüberschreitende Nationalparkregion Sächsisch- Böhmisches Schweiz*. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden.

VAŘILOVÁ, Z. 2005: *Plán péče o národní přírodní památku Pravčická brána na období 1.1. 2005-31.12.2014* [online]. Správa Národního parku České Švýcarsko, 2005 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.npcs.cz/sites/default/files/user_files/FTP_NO/Plany_pece/Plan_pece_NPR_Pravcicka.pdf>.

VÚGTK 1998: *Geodetické referenční systémy v České republice* [online]. 1. vyd. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 1998 [cit. 2012-08-02]. Dostupné z WWW: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/cd/cd_zak/systemy/start.htm>.

VÚGTK - TERMINOLOGICKÁ KOMISE ČÚZK 2005 – 2014: *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. 2005 – 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.vugtk.cz/slovník/>>.

ŽÁRA, J. ... [et al.] (Eds.) 2004: *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.

Seznam příloh

Příloha 1: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od severu

Příloha 2: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od jihu

Příloha 3: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo ze severní vyhlídky

Příloha 4: Porovnání čelního pohledu na Sokolí hnízdo

Příloha 5: Porovnání pohledu na budovy lanovky

Příloha 6: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od cesty k bývalým WC

Příloha 7: Porovnání budovy Kiosku

Příloha 8: Porovnání detailu obydleného domu

Příloha 9: Porovnání pohledu na budovu infocentra

Příloha 10: Porovnání pohledu na 1 budovu poklady

Příloha 11: Náhled na přístupovou cestu z vrcholu Pravčické brány

Příloha 12: Obsah příloženého DVD

Příloha 1: porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od severu



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 2: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od jihu



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 3: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo ze severní vyhlídky



Zdroj: archiv autora

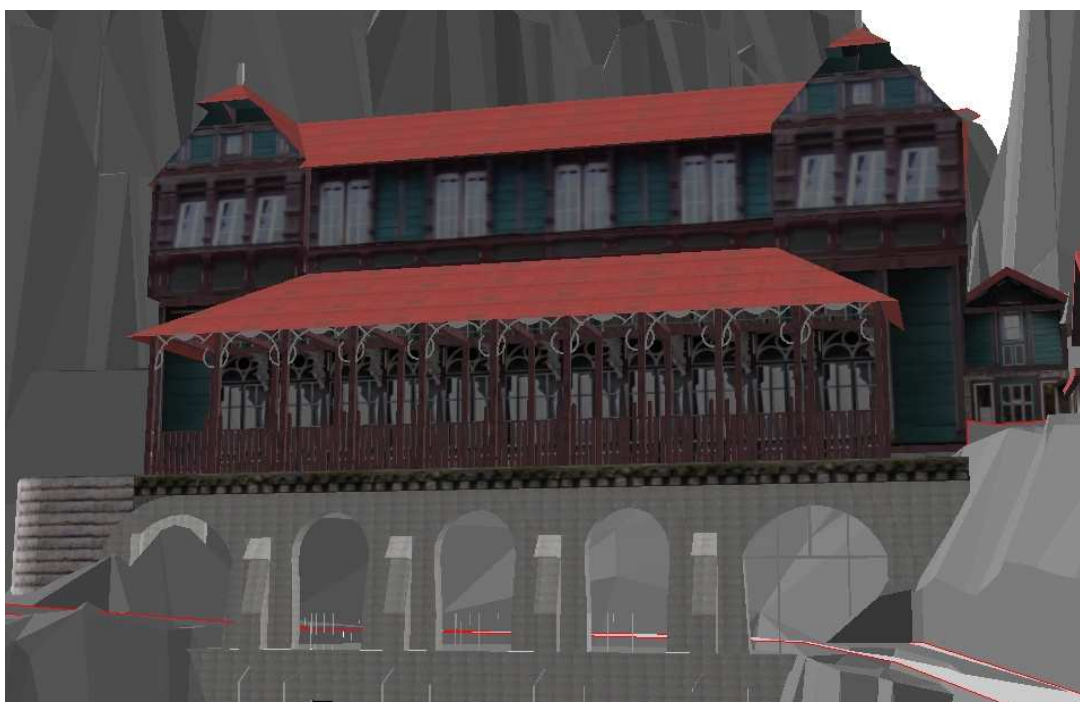


Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 4: Porovnání čelního pohledu na Sokolí hnízdo



Zdroj: archiv autora

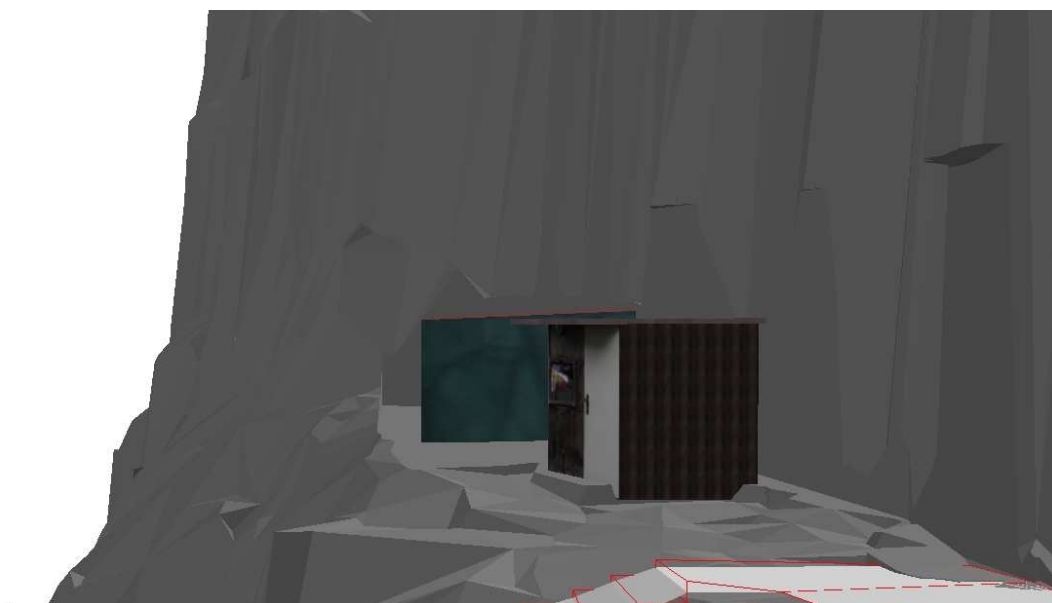


Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 5: Porovnání pohledu na budovy lanovky



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 6: Porovnání pohledu na Sokolí hnízdo od cesty k bývalým WC



Zdroj: archiv autora

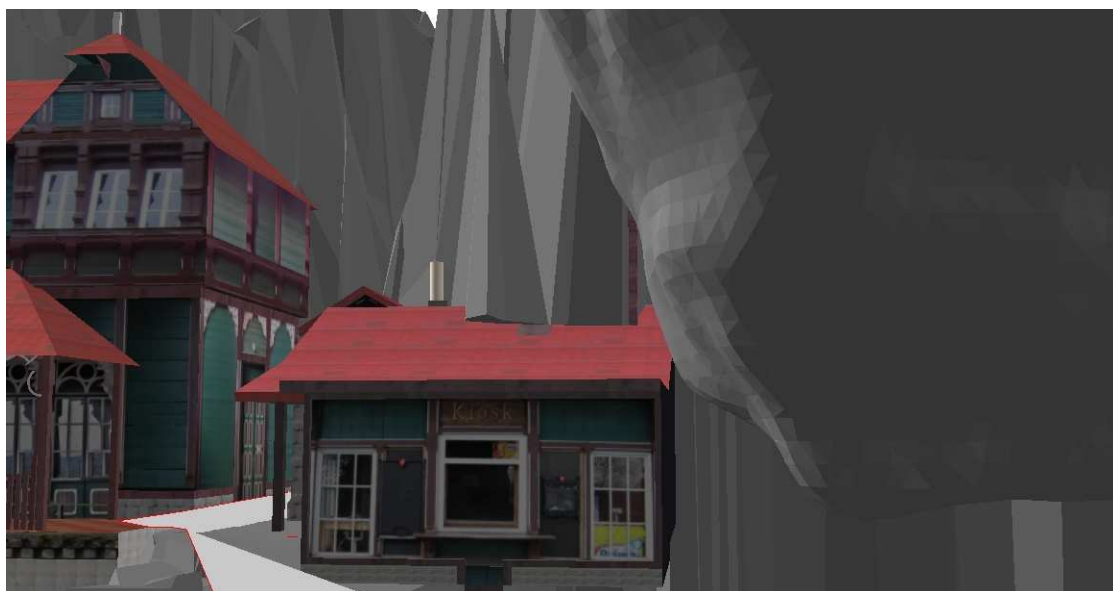


Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 7: Porovnání budovy Kiosku



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 8: Porovnání detailu obydlí



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 9: Porovnání pohledu na budovu infocentra



Zdroj: archiv autora

Příloha 10: Porovnání pohledu na I budovu poklady

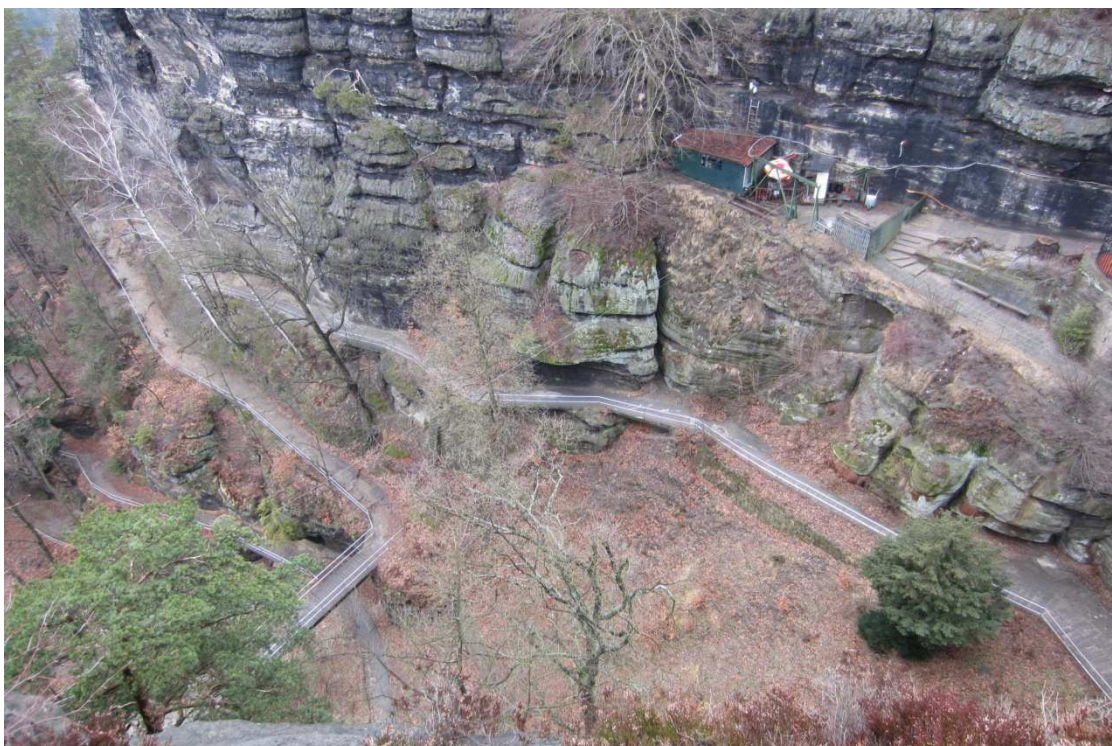


Zdroj: archiv autora

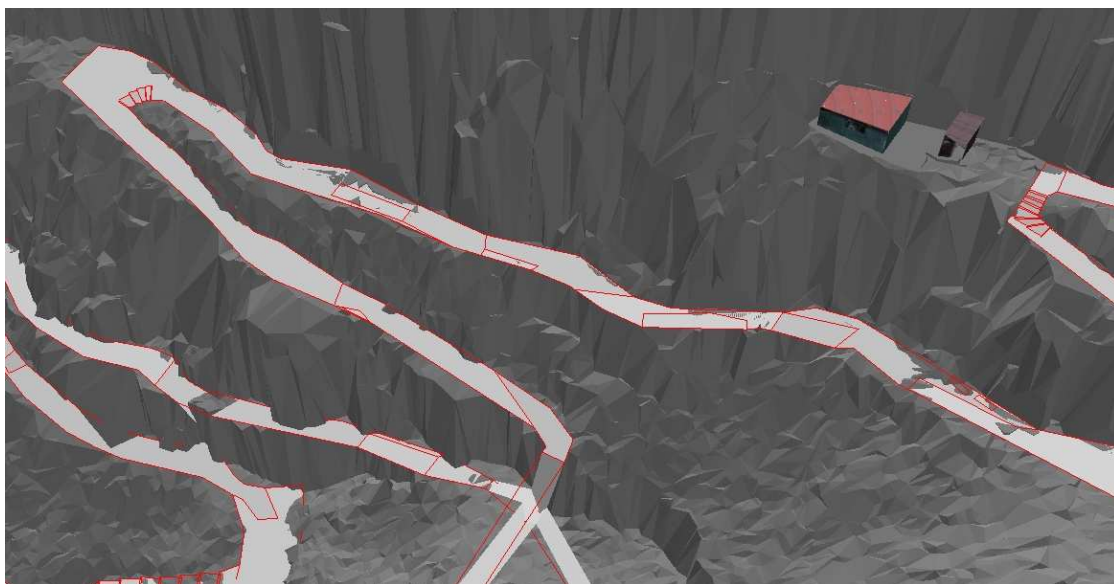


Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 11: Náhled na přístupovou cestu z vrcholu Pravčické brány



Zdroj: archiv autora



Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 12: obsah přiloženého DVD

- Složka obsahující původní zdrojová data
- Složka s vytvořenými daty autorem práce
- Složka s podklady pro závěrečnou vizualizace výsledné scény